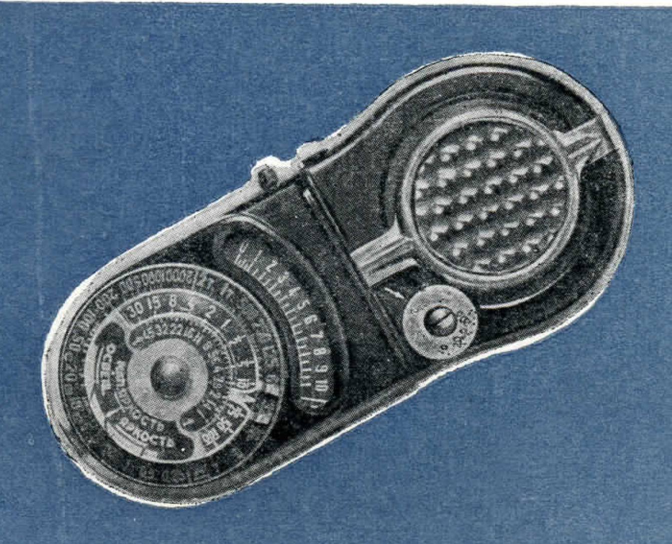
А. ГАЛЬПЕРИН

Определение фотографической экспозиции



• ИСКУССТВО •

А. ГАЛЬПЕРИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

ЭКСПОНОМЕТРИЯ
ДЛЯ КИНО- И ФОТОЛЮБИТЕЛЕЙ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ИСКУССТВО»
Москва 1955

АННОТАЦИЯ

В книге излагаются вопросы теории и практики экспонометрии, рассматриваются объективные методы определения фотографической экспозиции и основные факторы, влияющие на ее величину.

Книга рассчитана на подготовленного читателя.

Отзывы и замечания издательство «Искусство» просит направлять по адресу: Москва, И-51, Цветной бульвар, 25.

ВВЕДЕНИЕ

Точное определение времени и условий экспонирования представляет собой не легкую задачу. Ее правильным решением определяется не только техническое качество, но и некоторые художественные особенности фотоснимков и киноизображений.

Изучение основ теории экспонометрии является поэтому одним из важнейших этапов овладения мастерством и обязательно не только для кинооператора и мастера фотографии, но и для серьезного фотолюбителя.

В связи с особенностями многослойных пленок, применяемых при цветных съемках, и широким распространением среди фотолюбителей метода проявления негативов по времени требования к точности определения условий экспонирования очень возросли. Практика визуальной оценки «на глаз» важнейших экспонометрических характеристик снимаемых объектов и освещения не может более обеспечить качества и необходимого постоянства результатов съемки. Вполне оправданным поэтому было стремление к разработке методики и созданию приборов, способствующих объективному решению этой важнейшей проблемы.

В связи с этим на основе передового опыта мастеров советского операторского искусства и достижений

советской кинотехники была разработана научно обоснованная методика определения условий экспонирования и созданы фотоэлектрические приборы, обеспечивающие получение объективных оценок экспонометрических условий съемки.

В этой книге будут рассмотрены лишь основные, доступные подготовленному кино- и фотолюбителю теоретические основы экспонометрии.

ПРОБЛЕМА ПРАВИЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ И УСЛОВИЙ ЭКСПОНИРОВАНИЯ ПРИ ФОТО- И КИНОСЪЕМКЕ

Фотографическое действие света

Световые лучи, отраженные объектами съемки, пройдя через объектив фотоаппарата, образуют на светочувствительном слое действительное оптическое изображение снимаемых предметов. Освещенность и цветность отдельных элементов этого изображения зависят от различий яркости и цвета снимаемых объектов, некоторых особенностей съемочной оптики и прозрачности воздушной среды, расположенной между объектами съемки и камерой.

Фотохимическое действие этих световых лучей определяется освещенностями, создаваемыми на светочувствительном слое разнояркими элементами оптического изображения, их спектральными характеристиками и временем экспонирования.

Количество освещения, воздействующее на светочувствительный материал при экспонировании, может быть упрощенно представлено для каждого отдельного участка оптического изображения в виде уравнения:

$$H = E \cdot t,$$

где H — количество освещения светочувствительного слоя, выраженное в люкс-секундах; E — его освещенность в люксах; t — время воздействия света на светочувствительный слой, выраженное в секундах. Величины освещенности слоя E и время экспонирования t в этом уравнении прямо связаны с величиной экспозиции* H,

* Следует напомнить, что понятие экспозиции, т. е. количества освещения, определяемого произведением освещенности на фотографическом слое на время освещения, не следует смешивать с понятием выдержки, т. е. промежутка времени, в течение которого светочувствительный слой подвергался воздействию света.

и их изменения должны были бы в равной степени влиять на изменения величины H. Между тем опыт показал, что для некоторых случаев воздействия света на фотографические материалы это положение оказывается не вполне верным. При исследованиях, связанных с фотографированием звезд, было установлено, что при очень малой освещенности и соответствующем увеличении времени выдержки, т. е. при неизменности общего количества освещения, итоговое почернение светочувствительного слоя оказывалось значительно уменьшенным.

Выяснилось, что полученные почернения слоя нельзя считать прямо пропорциональными произведению $E \cdot t$ и что в этих случаях уравнение $H = E \cdot t$ принимает вид: $H = E \cdot t^p$, где p — показатель степени, который для большинства современных негативных материалов в обычных условиях освещения оказывается равным 0,8—0,9, доходя у отдельных высокочувствительных сортов до 0,95. Для большинства случаев фото- и киносъемок, проводимых в обычных условиях освещения, влиянием этой поправки можно пренебречь. При съемках же, проведение которых связано со значительным диафрагмированием объектива, а также в некоторых случаях съемки при очень малых освещенностях величина необходимой экспозиционной поправки может быть определена опытным или расчетным путем.

В качестве примера рассмотрим следующий случай.

Некоторую степень почернения фотографического слоя, определяемую оптической плотностью негатива D*, мы получим в результате экспозиции $H = E \cdot t$. В случаях, когда при снижении освещенности снимаемого объекта или диафрагмировании объектива освещенность слоя E уменьшится в 100 раз, то для получения той же плотности D, в связи с влиянием коэффициента p, при неизменном времени проявления, окажется недостаточным увеличить время выдержки также в 100 раз, как это вытекало бы из уравнения $H = E \cdot t$. Условно примем величину p для применяемого при съемке негативного материала равной 0,79. Тогда при стократном уменьшении освещенности слоя, т. е. при $E = \frac{E}{100}$, время необходимой выдержки t_2 окажется равным уже не $100\,t$, а в соответствии с изложенным должно равняться $100\ t^{0,79}$. Время выдержки поэтому должно быть увеличено не в 100, а в 340 раз. Очевидно, что такая поправка имеет существеннейшее практическое значение.

В связи с различиями освещенностей, создаваемых на светочувствительном слое оптическими изображениями снимаемых объектов, отдельные участки слоя при одинаковом времени экспонирования получают различные количества освещения. Если, независимо от яркости фотографируемых объектов, почернения светочувствительного слоя оказывались бы во всех случаях строго пропорциональными величинам освещенности слоя, то проблема правильного экспонирования при фото- и киносъемке решалась бы сравнительно легко.

В действительности же это оказывается несравненно сложнее. Разберемся в этом подробнее.

Характеристическая кривая

Изучение фотохимического действия света показало, что зависимости между почернениями светочувствительного слоя и вызвавшими их количествами освещения, подчиняясь в основном определенным общим закономерностям, существенно изменяются в связи с характером и типом применяемых пленок и пластинок.

Для выявления особенностей фотографических материалов эти зависимости принято выражать в графической форме в виде так называемой *характеристической кривой*.

При построении этой кривой применяется координатная сетка, на горизонтальной оси которой откладываются количества освещения, выражаемые в виде логарифмов величин экспозиции, а на вертикальной оси — оптические плотности почернения.

Для изучения особенностей применяемого негативного материала подвергнем его действию возрастающих в определенной закономерности количеств освещения.

* За единицу оптической плотности почернения принимается плотность слоя с коэффициентом пропускания 0,1, т. е. пропускающим сквозь себя $^1/_{10}$ часть падающего на него света. Для удобства расчетов оптическая плотность выражается десятичным логарифмом величины, обратной коэффициенту пропускания. Величина оптической плотности пропорциональна количеству металлического серебра, восстановленного в результате экспонирования и проявления на единице поверхности светочувствительного слоя.

Проявив в стандартных условиях полученную таким образом сенситограмму и промерив возникшие в результате экспонирования и проявления оптические плотности отдельных полей, построим характеристическую кривую испытуемого материала (рис. 1).



Рис. 1. Сенситограмма и характеристическая кривая негативного материала

В качестве примера рассмотрим случай испытания негативного материала («Панхром» тип А, эмульсия № 5868), результаты которого сведены в табл. 1. Как видно из этой таблицы, количество освещения для каждого последующего поля сенситограммы по сравнению с предшествующим ему полем удваивается.

Данные табл. 1 о различиях оптических плотностей смежных полей сенситограммы дают представление о закономерностях нарастания почернений, характеризующих особенности исследуемого негативного материала. В начале шкалы прирост оптических плотностей, соответствующий экспозициям для второго и третьего поля сенситограммы весьма мал и равняется 0,02.

Таблица 1

Соотношение количеств освещения светочувствительного слоя и плотностей сенситограммы

Номера полей сенситограммы	Количество освещения (экспозиция) для каждого поля (в люкс-секундах)	Относительные количества освещения (экспозиции)	Логарифм экспозиции (lg H)	Оптические плотности D (lg непрозрачности)	Различия плотностей смежных полей сенситограммы		Относительное количество освещения (экспозиция, соответствующая началу прямолинейного участка характеристической кривой, принята за единицу)
1	0,0024	1	−2,6	0,12	0,00	Область недодержек	1/8
2	0,005	2	−2,3	0,14	0,02		1/4
3	0,01	4	−2,0	0,18	0,04		1/2
4	0,02	8	−1,7	0,36	0,18		1
5	0,04	16	−1,4	0,58	0,22	Область нормальных экспозиций	2
6	0,08	32	−1,1	0,80	0,22		4
7	0,16	64	−0,8	1,02	0,22		8
8	0,32	128	−0,5	1,24	0,22		16
9	0,64	256	−0,2	1,46	0,22		32
10	1,25	512	0,1	1,67	0,21		64
11	2,5	1 024	0,4	1,86	0,19	Область передержек	128
12	5,0	2 048	0,7	1,94	0,08		256
13	10,0	4 096	1,0	1,97	0,03		512
14	20,0	8 192	1,3	1,98	0,01		1 024

Постепенно увеличиваясь, разность плотностей смежных полей достигает для пятого и шестого поля 0,22. На некотором участке прирост плотностей остается неизменным, а затем, начиная с одиннадцатого поля, начинает уменьшаться и снижается до величины 0,03.

Таким образом, мы можем отметить наличие трех областей: в первой разность между смежными плотностями увеличивается от поля к полю; во второй — сохраняет свое неизменяющееся значение; в третьей — вновь начинает уменьшаться.

Отложим на горизонтальной оси графика (рис. 1) приведенные в табл. 1 величины логарифмов экспозиций, полученных отдельными полями нашей сенситограммы, а на вертикальной оси — соответствующие им оптические плотности. Очевидно, что эти величины являются

координатами точек, наносимых на график. Соединив эти точки плавной кривой, мы получим характеристическую кривую исследуемого негативного материала. Рассматривая полученную кривую, можно увидеть, что она так же может быть разделена на три области, плавно переходящие одна в другую. В средней, основной части, характеристическая кривая совпадает с прямой. В пределах этого участка прирост плотностей почернений прямо пропорционален логарифмам экспозиций и равным приращениям экспозиций соответствуют равные приросты оптических плотностей.

Области нормальных экспозиций, недодержек и передержек

Участок *А—Б* на рис. 1 называют областью нормальных экспозиций, или областью пропорционального воспроизведения яркостей снимаемого объекта; это — важнейшая часть характеристической кривой негативного материала. В нижней части кривой (участок *В—А*) эта пропорциональность отсутствует и прирост почернений слоя заметно отстает от роста вызывающих их экспозиций. Этот участок кривой обычно называют областью недодержек.

Не существует прямой пропорциональности между оптическими плотностями и логарифмами экспозиций также и в верхней части кривой (участок *Б—Г*). Этот участок называют областью передержек. Как и в области недодержек, приросты оптических плотностей почернения фотографического слоя на этом участке отстают от роста вызывающих их экспозиций.

С экспонометрической точки зрения большой интерес представляет форма характеристической кривой, определяемая особенностями негативных материалов и зависимостями между плотностями почернения и вызывающими их экспозициями.

Особенно большое значение имеет величина начального участка характеристической кривой. У некоторых негативных материалов длина этого участка относительно велика и охватывает значительный интервал экспозиций. В этом случае прямолинейная часть характеристической кривой начинается лишь в области сравнительно больших плотностей почернения.

У материалов же, обладающих коротким и крутым начальным участком, начало прямолинейного участка кривой соответствует относительно низким плотностям.

В связи с этим у таких негативных материалов интервал экспозиций, охватываемых начальной частью кривой, очень невелик.

Коэффициент контрастности

При работе на различных негативных материалах контрасты снимаемых объектов воспроизводятся поразному. Это объясняется тем, что приросты оптических плотностей ΔD (рис. 2), соответствующие одним и тем же приростам экспозиции, а следовательно, и контрасты получаемых фотографических изображений у различных светочувствительных материалов существенно отличаются друг от друга.

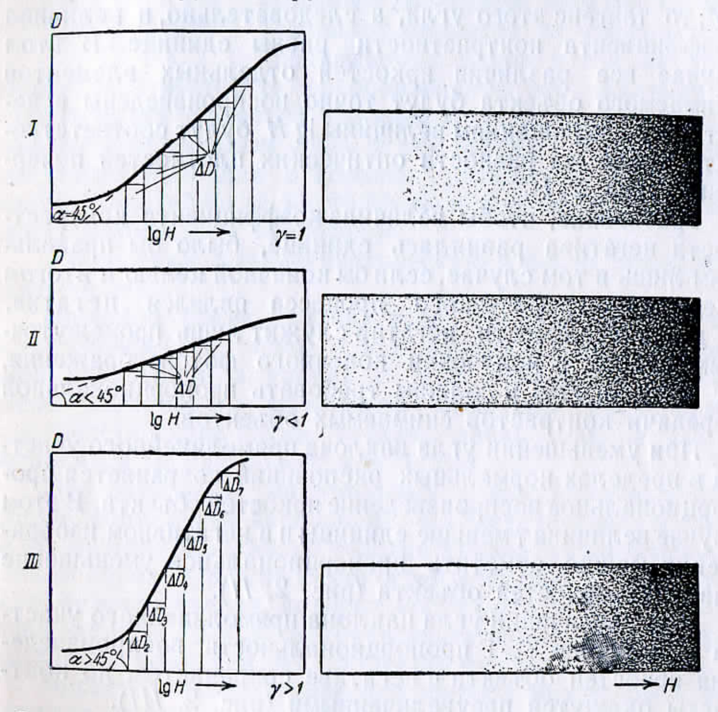


Рис. 2. Коэффициент контрастности различных фотографических материалов

Эти особенности различных негативных материалов, тесно связанные с условиями проявления, выражаются величиной коэффициента контрастности

светочувствительного слоя, являющейся одной из его важнейших характеристик.

Численно коэффициент контрастности, обозначаемый обычно греческой буквой гамма (γ), может быть выражен отношением разности двух смежных оптических плотностей, взятых на прямолинейном участке кривой, к разности соответствующих им логарифмов экспозиций. Коэффициент контрастности равен тангенсу угла наклона прямолинейного участка характеристической кривой к оси абсцисс (при одинаковом масштабе осей абсцисс и ординат).

Если угол наклона прямолинейного участка равен 45°, то тангенс этого угла, а следовательно, и величина коэффициента контрастности равны единице. В этом случае все различия яркостей отдельных элементов снимаемого объекта будут точно воспроизведены в негативе и приращениям величины $\lg H$ будут соответствовать такие же разности оптических плотностей почернений (рис. 2, *I*).

Требование, чтобы величина коэффициента контрастности негатива равнялась единице, было бы правильным лишь в том случае, если бы конечной целью и итогом всего фотографического процесса являлся негатив. В действительности негатив служит лишь промежуточным этапом в получении конечного фотоизображения, от которого мы и должны требовать пропорциональной передачи контрастов снимаемых объектов.

При уменьшении угла наклона прямолинейного участка в пределах нормальных экспозиций сохраняется пропорциональное воспроизведение яркостей объекта. В этом случае величина γ меньше единицы и в негативном изображении можно отметить пропорциональное уменьшение различий яркостей объекта (рис. 2, *II*).

При увеличении угла наклона прямолинейного участка и величине $\gamma > 1$ пропорциональность воспроизведения яркостей объекта в негативе сохраняется, но контрасты окажутся преувеличенными (рис. 2, *III*).

Снижение контрастов в негативном изображении компенсируется в позитивном процессе более высоким контрастом позитивных материалов. В связи с этим в большинстве случаев негативы проявляются до γ меньше единицы. Кинонегативы проявляются обычно до $\gamma = 0{,}65$ — 0,70, а негативы малоформатных камер — до $\gamma = 0{,}8$.

Большое влияние на величину γ, а следовательно, на особенности воспроизведения в негативе контрастов снимаемого объекта помимо свойств негативного материала оказывает время проявления и характер работы применяемых проявителей. С увеличением времени проявления оптические плотности, соответствующие одним и тем же приростам экспозиции, увеличиваются, возрастает и контрастность изображения. При дальнейшем удлинении времени проявления рост величины γ замедляется, а по достижении некоторого максимального значения контраста, различного для разных светочувствительных материалов, полностью прекращается.

Фотографическая широта

Важным свойством негативных материалов является их способность правильно, с одной и той же степенью контрастности воспроизводить все различия и соотношения яркостей снимаемых объектов. Это оказывается возможным лишь в том случае, если величины экспозиций для отдельных разноярких элементов снимаемого объекта не будут выходить за пределы области нормальных экспозиций.

Рассмотрим характеристическую кривую, приведенную на рис. 1.

Проекции обеих крайних точек прямолинейного участка кривой (т. е. точек *А* и *Б*) пересекут ось логарифмов экспозиций в точках *а* и *б*. Для исследуемого нами негативного материала величины экспозиций, соответствующие этим точкам, равны 0,02 и 2,5 и относятся между собой, как 1 : 128.

Это отношение минимальных и максимальных пределов нормальных экспозиций, соответствующих началу и концу прямолинейного участка кривой, характеризует, таким образом, различия яркостей отдельных элементов снимаемого объекта, которые могут быть правильно воспроизведены данным светочувствительным слоем и определяются понятием ф о т о г р а ф и ч е с к о й ш и р о т ы.

Численно фотографическая широта может быть выражена либо непосредственно отношением экспозиций, соответствующих началу и концу прямолинейного участка, либо логарифмически, в виде разности логарифмов экспозиций. В нашем примере испытания негативной кинопленки типа А (рис. 1) эти величины относятся между собой, как 8 : 1024, или 1 : 128. В логарифмическом

выражении фотографическая широта нашего материала оказывается равной 2,1.

Методика определения фотографической широты многослойных цветных пленок, так же как и методика определения их светочувствительности, еще недостаточно разработана.

Практически фотографическая широта цветных негативных материалов для определенного спектрального состава освещения может быть приближенно оценена по величине интервала экспозиций, обеспечивающих неискаженное воспроизведение цвета снимаемых объектов. Для большинства цветных пленок фотографическая широта не велика и не превышает 1 : 32—1 : 64.

Следует отметить, что фотографическая широта непостоянна даже для данного конкретного светочувствительного материала; очевидно, что при изменении времени проявления и связанным с ним изменением коэффициента контрастности в некоторых пределах изменяется также и фотографическая широта светочувствительного слоя (рис. 3).

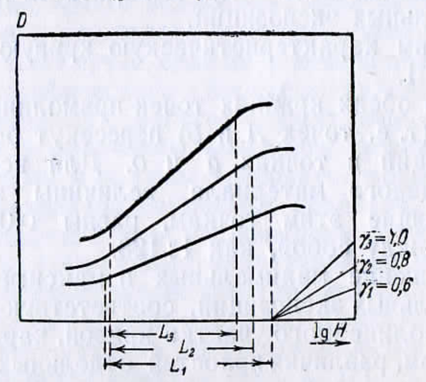


Рис. 3. Изменения фотографической широты негативного материала в связи с увеличением времени проявления

Фотографическая широта черно-белых негативных материалов, выпускаемых советской промышленностью, очень велика и в большинстве случаев обеспечивает удовлетворительное воспроизведение на снимке даже очень контрастных объектов. Особенно велика фотографическая широта советских кинонегативных пленок, достигающая значений 1 : 128 — 1 : 256 и выше.

Несмотря на это, при съемке особенно контрастных объектов, освещенности, создаваемые на светочувствительном слое оптическими изображениями самых темных и самых ярких элементов снимаемого сюжета, во многих случаях выходят за пределы освещенностей, соответствующих началу и концу прямолинейного участка кривой. В связи с этим и экспозиции, соответствующие яркостям минимально и максимально ярких элементов сюжета, зачастую не укладываются в интервал экспозиций, соответствующих крайним точкам прямолинейного участка характеристической кривой. Поэтому в практике съемки наряду с областью нормальных экспозиций используются без заметного ущерба для качества изображения и некоторые участки областей недодержек и передержек. Очевидно, пределы использования этих участков определяются способностью светочувствительного слоя также и на этих участках раздельно и с достаточной точностью воспроизводить в негативе различия яркостей отдельных разноярких элементов снимаемых объектов. Рассмотрим это подробнее.

Минимальный полезный градиент

По мере уменьшения величины экспозиций крутизна наклона кривой в области недодержек все более и более уменьшается и величина контраста снижается (рис. 4). Уменьшаются и приросты плотностей, соответствующие одним и тем же приростам экспозиции. При дальнейшем уменьшении экспозиции величина контраста, снизившись еще более, достигнет в точке $H_{мин}$ некоторой минимальной величины, за пределами которой удовлетворительная различаемость деталей в тенях объекта исключается. При еще большем снижении величины экспозиции до уровня, соответствующего точке *Д* кривой, способность слоя раздельно воспроизводить различия яркостей полностью исчезает.

Необходимо установить поэтому степень наименьшего полезного наклона кривой, или, как говорят, величину **минимального полезного градиента**, обеспечивающего удовлетворительное воспроизведение на снимке деталей в тенях объекта. Количественно эта величина (рис. 4) может быть выражена тангенсом угла наклона касательной к оси логарифмов экспозиций.

Исследования показали, что величина минимального полезного градиента определяется многими особенно-

стями процесса фотографического воспроизведения тонов и не может быть установлена на основе анализа свойств одних лишь негативных материалов. Изучение кинематографических негативов и позитивов, а также фотоснимков показало, что для области недодержки

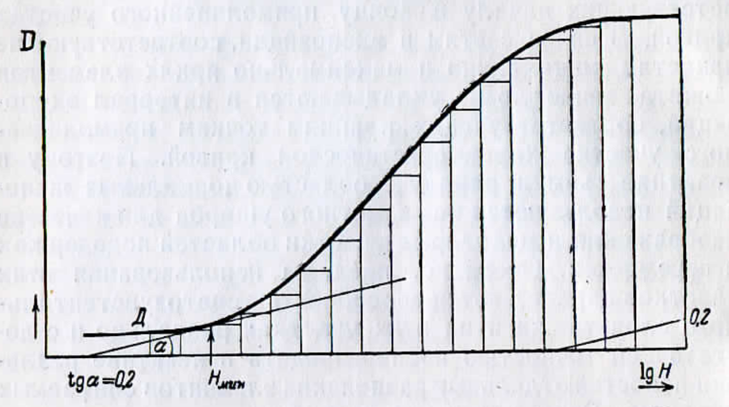


Рис. 4. Характеристическая кривая негативного материала. В точке $H_{мин}$ — наименьший полезный наклон кривой (минимально полезный градиент) равен 0,2

величина минимального полезного градиента с достаточной точностью может быть принята равной 0,2.

Полезная фотографическая широта

Если в связи с этим по аналогии с расположенной в области недодержек точкой $H_{мин}$ (рис. 5) взять в области передержек точку $H_{макс}$, градиент которой также равен 0,2, то в пределах этого участка градиент любой точки характеристической кривой будет превышать величину 0,2. В связи с этим мы сможем установить величину полезного интервала экспозиций, или полезной фотографической широты, определяемой отношением экспозиций, соответствующих точкам $H_{мин}$ и $H_{макс}$. Практически используемая при съемке широта светочувствительных материалов несколько увеличивается при этом за счет некоторых участков областей недодержек и передержек.

Очевидно, что за пределами интервала экспозиций, соответствующих полезной фотографической широте, удовлетворительное воспроизведение в негативе всех различий яркости и деталей в светах и тенях объекта окажется невозможным.

Рассмотрим это на примере съемки сюжета, яркость наиболее светлого элемента которого в данных условиях освещения равна $B_{макс}$, а яркость самого темного элемента $B_{мин}$.

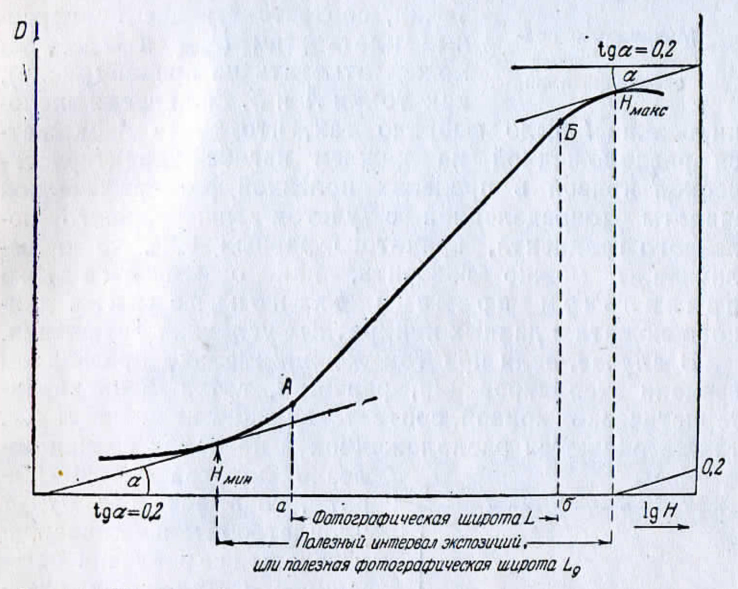


Рис. 5. Полезная фотографическая широта негативного материала

Интервал яркостей этого объекта определится отношением максимальной и минимальной яркостей отдельных разноярких элементов снимаемого объекта и в данном случае будет равен

$$\frac{B_{макс}}{B_{мин}}.$$

Допустим, что образованное объективом оптическое изображение наиболее темного участка снимаемого объекта, яркость которого равна $B_{мин}$, создаст на светочувствительном слое освещенность $E_{мин}$, а оптическое изображение самого светлого элемента, яркость которого равна $B_{макс}$, — освещенность $E_{макс}$.

Тогда при времени выдержки, равном t, светочувствительный слой получит ряд количеств освещения (экспозиций), которые будут лежать в пределах $H_{мин} = E_{мин} \cdot t$ и $H_{макс} = E_{макс} \cdot t$.

После проявления, в соответствии с величинами экспозиций $H_{мин}$ и $H_{макс}$, на светочувствительном слое возникнут оптические плотности почернений, соответственно равные для данного случая $D_{мин}$ и $D_{макс}$.

Минимально правильное время экспонирования

Точки, соответствующие промеренным плотностям $D_{мин}$ и $D_{макс}$, мы можем отметить на кривой (рис. 6), как точки *А* и *Б*. Если время экспонирования *t* было выбрано так, что точка *А* окажется расположенной на нижнем изгибе характеристической кривой в пределах полезной фотографической широты (определенной с учетом минимального полезного градиента, принятого равным 0,2), то о величине *t* можно говорить, как о минимально правильном времени экспонирования данного сюжета в данных конкретных условиях освещения.

В случае, если при том же минимально правильном времени экспонирования, равном *t*, точка *Б* на характеристической кривой, соответствующая величине $H_{макс}$, также окажется расположенной в пределах границ полезной фотографической широты, то в негативе будут удовлетворительно воспроизведены все различия освещенности элементов оптического изображения.

Рис. 6. Минимально правильное время экспонирования

Проверим это на анализе конкретного примера из съемочной практики. На рис. 7 приведен снимок фотокорреспондента А. Гаранина «Утро на Красной площади» и на рис. 8 — негатив этого снимка. Промерим оптические плотности почернения светочувствительного слоя на различных участках негатива и отложим их на оси оптических плотностей нашего графика и характеристической кривой, приведенной на рис. 1.

Минимальная оптическая плотность этого негатива равна 0,30 (теневая сторона мавзолея), а максимальная плотность (на наиболее светлом участке неба, расположенном справа от собора) равна 1,70 (рис. 9).

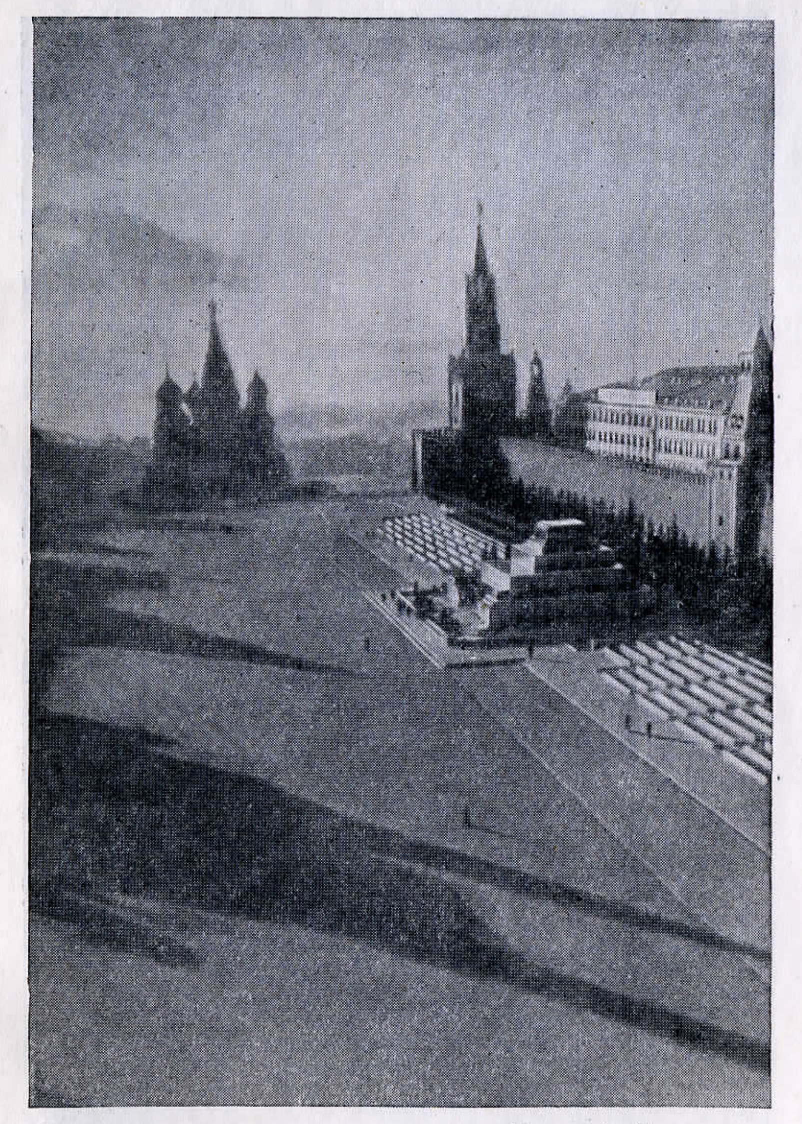


Рис. 7. «Утро на Красной площади». Снимок А. Гаранина

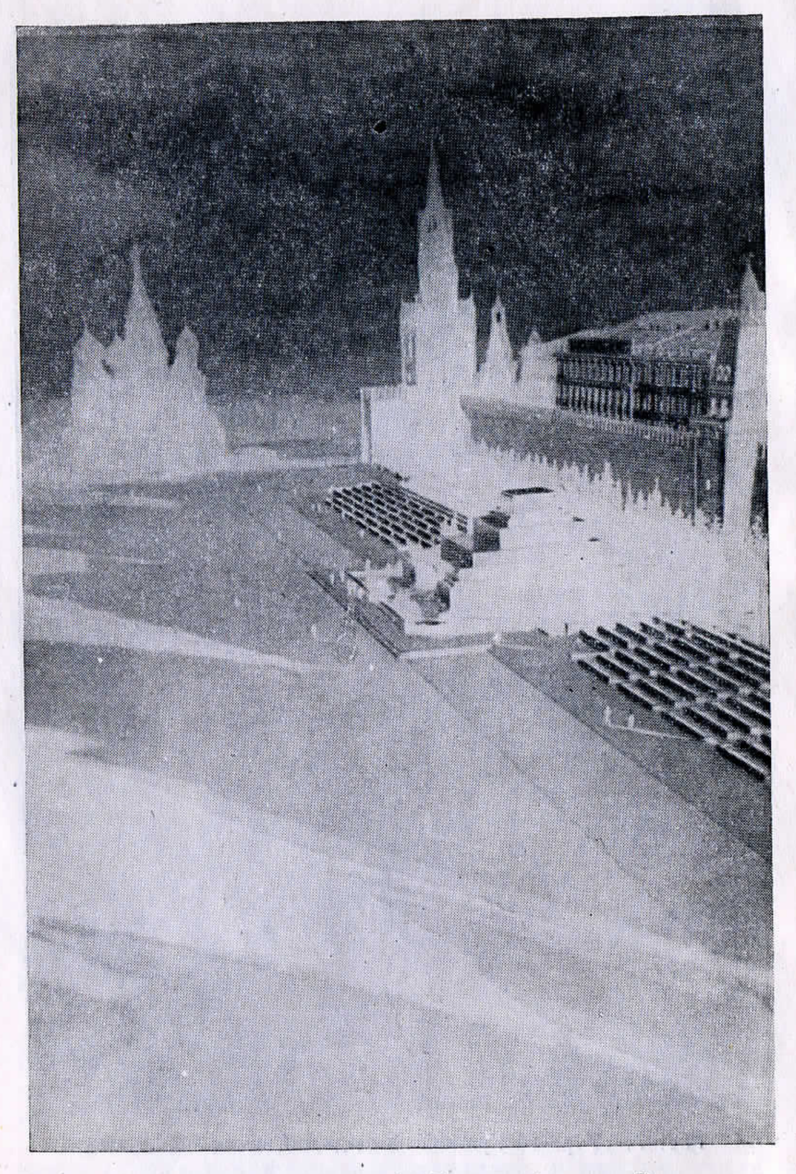


Рис. 8. Негатив снимка А. Гаранина (см. рис. 7)

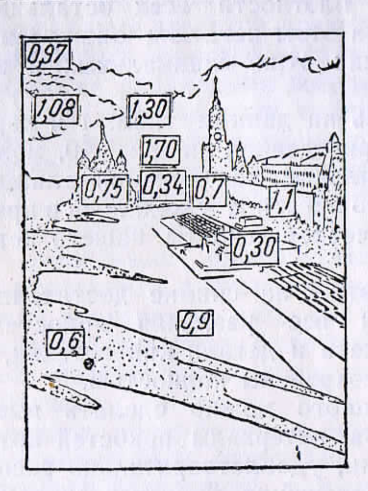


Рис. 9. Распределение участков оптических плотностей негатива

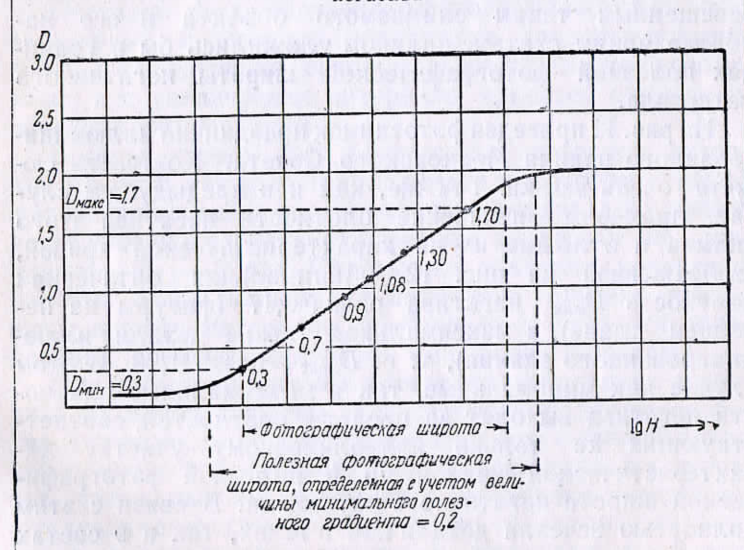


Рис. 10. Характеристическая кривая негативного материала. Отмечены точки, соответствующие оптическим плотностям основных участков негатива снимка, приведенного на рис. 7

Оптические плотности всех остальных элементов изображения на этом негативе окажутся расположенными в пределах этих минимальных и максимальных плотностей.

Основываясь на данных табл. 1 и характеристической кривой, приведенной на рис. 10, можно отметить, что как минимальные, так и максимальные оптические плотности этого негатива уложились в пределах полезной фотографической широты нашего негативного материала.

В связи с этим на снимке достаточно правильно воспроизведены все различия яркостей отдельных элементов сюжета и детали как в тенях, так и в светах негатива сохранены полностью.

Из изложенного можно сделать вывод, что при съемке сюжетов, интервалы яркостей которых относительно невелики, удовлетворительно воспроизвести на снимке все соотношения яркостей мы сможем лишь в том случае, если условия экспонирования будут выбраны так, чтобы экспозиции, соответствующие слабо освещенным теням снимаемого объекта и его наиболее ярким светам, целиком уложились бы в границах полезной фотографической широты негативного материала.

На рис. 11 приведен фотоснимок празднично иллюминированного здания Московского Совета. Контрасты сюжета очень велики. Так же, как и в предыдущем случае, промерим оптические плотности негатива этого снимка и отложим их на характеристической кривой, изображенной на рис. 12. Минимальная оптическая плотность $D_{мин}$ негатива равна 0,17 (фигуры на переднем плане), а максимальная (яркие детали иллюминированного здания), т. е. $D_{макс}$, равна 1,98. В этом случае как минимальные, так и максимальные плотности негатива выходят за пределы плотностей, соответствующих не только прямолинейному участку характеристической кривой, но и полезной фотографической широте негативного материала. В связи с этим полностью исчезли детали как в тенях, так и в светах негатива.

В этом случае ни при какой выдержке нельзя правильно воспроизвести в негативе все контрасты снимаемого объекта.

При съемках же большинства сюжетов с обычными небольшими интервалами яркостей правильное воспроизведение всех различных яркостей оказывается возможным и с несколькими различными выдержками.

Допустимые погрешности в определении времени выдержки

Сопоставление величин интервала яркостей снимаемого объекта и фотографической широты оказывается необходимым при решении большинства экспонометрических задач, связанных с правильным определением времени и условий экспонирования. Следует поэтому выяснить зависимости между допустимым пределом погрешности в определении времени выдержки, фотографической широтой негативных материалов и интервалом яркостей снимаемого объекта.

Численно предел погрешности в определении времени выдержки может быть определен путем деления полезного интервала экспозиций, т. е. полезной фотографической широты негативного материала, на величину интервала яркостей сюжета.

Очевидно, что с увеличением фотографической широты негативных материалов допустимые пределы погрешности в определении времени экспонирования возрастают, а с увеличением интервала яркостей снимаемых объектов уменьшаются.

В связи с этим для контрастных объектов, интервал яркости которых приближается к фотографической широте применяемых негативных материалов, допустимые погрешности в определении времени выдержки не превышают $1^1/_2$ — 2 раз. При съемке объектов, контрасты которых очень велики и в некоторых случаях превышают широту материала, требования к точности определения времени выдержки еще более возрастают.

При работе на цветных многослойных пленках в связи с их малой широтой эти требования делаются более строгими, даже при съемке сюжетов с относительно небольшими контрастами. Для большинства же сюжетов, снимаемых на черно-белых негативных материалах в условиях естественного освещения, допустимые погрешности в определении выдержки достигают 4 — 6 раз.

Особенно велики допустимые погрешности экспозиции при съемке объектов с малыми контрастами, интервалы яркостей которых составляют 5 : 1 — 10 : 1.

В этих случаях допустимые погрешности достигают зачастую 20 — 30 раз.

Проверим это на анализе нескольких примеров из съемочной практики.

Снимок (рис. 13) сделан в солнечный зимний день. Контрасты сюжета очень велики. Яркость наименее яркого участка объекта (темные фигуры) равна 110, а наиболее яркого (небо) 46 000 апостильб, т. е. интервал яркостей достигает примерно 450 : 1. Тем не менее в результате достаточно точного определения минимально правильного времени экспонирования детали в тенях хорошо проработаны. Полностью сохранены и все детали в светах негатива. В связи с очень малой яркостью снятых против света фигур плотности негатива на этих участках ниже необходимых минимальных плотностей и детали на них отсутствуют. Интервал яркостей этого сюжета несколько превышает полезную фотографическую широту материала. Поэтому даже при точно определенном времени выдержки прямолинейному участку кривой будут соответствовать лишь плотности среднеярких элементов объекта (рис. 14). Другие, менее яркие участки окажутся недодержанными. В этом случае, увеличивая или уменьшая выдержку, мы лишь сдвигаем всю шкалу яркостей объекта в сторону областей недодержки или передержки.

При съемке подобных, очень контрастных сюжетов, не могут быть допущены какие-либо отклонения от точно определенного и обеспечивающего наилучшие результаты времени выдержки.

Фотопортрет ребенка (рис. 15) снят при свете двух фотоламп мощностью в 275 и 500 ватт. Интервал яркости этого объекта невелик и примерно равен 14 : 1. Промерим оптические плотности почернения на отдельных участках негатива этого снимка и отложим их на оси оптических плотностей (рис. 16). Минимальная оптическая плотность этого негатива равна 0,40, а максимальная 1,15. Время выдержки при диафрагмировании объектива до 1 : 4,5 — $^1/_{10}$ сек. При таком времени экспонирования все яркости объекта полностью уложились в пределах фотографической широты негативного материала.

В связи с небольшим интервалом яркостей объекта время выдержки при съемке могло быть (см. рис. 16)



Рис. 11. Празднично иллюминированное здание Московского Совета (фото Г. Мозера). Контрасты объекта съемки очень велики

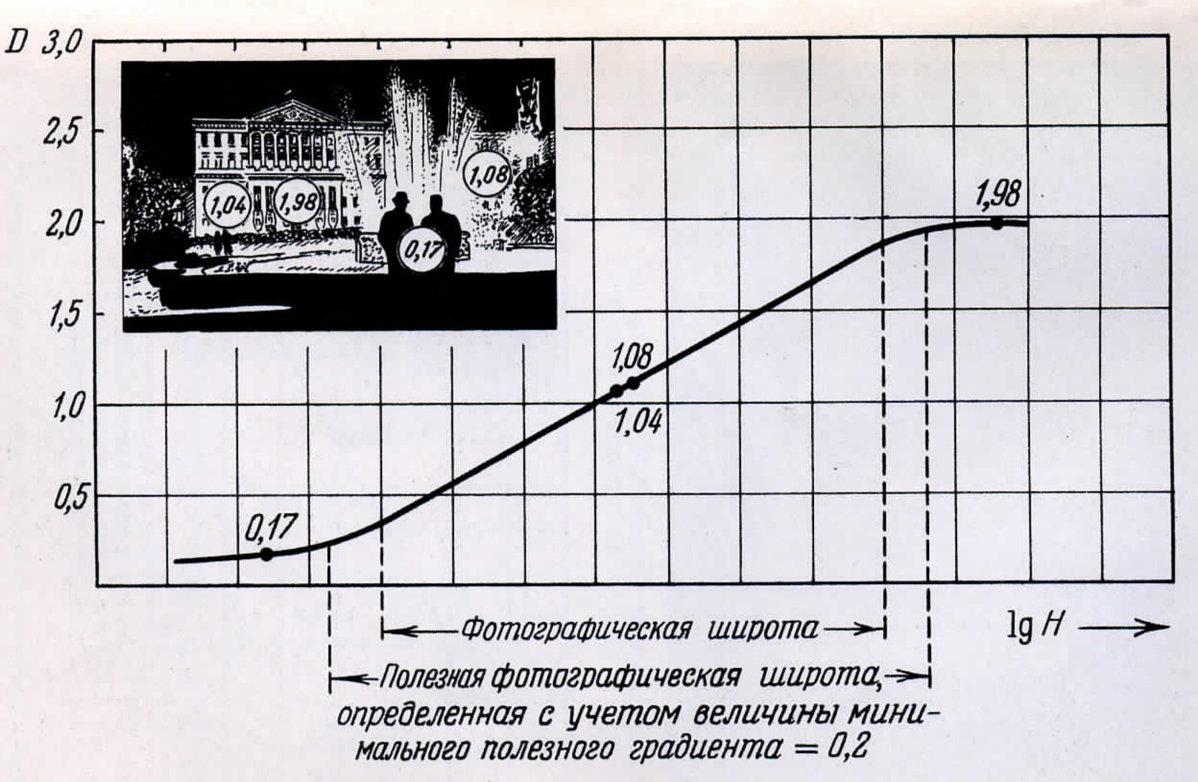


Рис. 12. Характеристическая кривая негативного материала. Отмечены точки, соответствующие оптическим плотностям основных участков негатива снимка (рис. 11)



Рис. 13. Проход под аркой (фото Е. Кряквина). Интервал яркостей снимка равен примерно 450 : 1

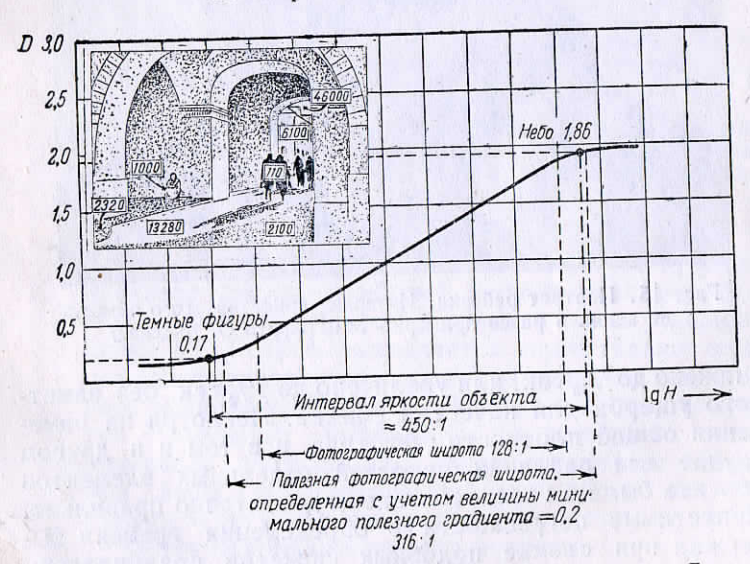


Рис. 14. Характеристическая кривая негативного материала. Точки, отмеченные на этой кривой, соответствуют минимальным и максимальным оптическим плотностям негатива этого снимка



Рис. 15. Портрет ребенка. Интервал яркостей этого объекта не велик и равен примерно 14 : 1 (фото О. Авдеева)

снижено до $^1/_{15}$ сек. или увеличено до $1^1/_2$ сек. без заметного ущерба для качества снимка. Несмотря на изменения общей плотности негатива и в том и в другом случае все различия яркостей отдельных элементов объекта были бы воспроизведены достаточно правильно. Допустимые погрешности в определении времени выдержки при съемке подобных сюжетов сравнительно велики и могут колебаться в довольно широких пределах.

Снимок, приведенный на рис. 17, сделан в пасмурный зимний день, во время тумана. Время выдержки $^1/_{50}$ сек. при относительном отверстии 1 : 3,5. Контрасты объекта невелики, так как туман, заполняющий пространство между объектами съемки и камерой, почти не изменяя

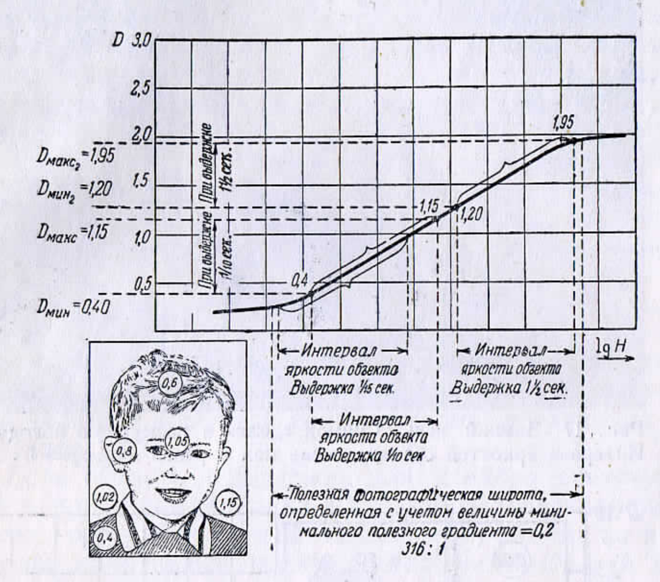


Рис. 16. Время выдержки при съемке портрета, приведенного на рис. 15, в связи с небольшим интервалом яркостей объекта без ущерба для качества снимка может быть снижено до $^1/_{15}$ сек. и увеличено до $1^1/_2$ сек.

яркости светлых элементов сюжета, существенно увеличивает яркости наиболее темных участков. В связи с этим интервал яркостей объекта очень снижен (примерно до 5 : 1) и оказывается значительно меньшим, нежели фотографическая широта применяемого негативного материала. И в этом случае негативы, полученные при различных выдержках (в пределах полезного интервала экспозиций), будут разниться между собой лишь по плотностям, контрасты же объекта съемки будут воспроизведены на этих снимках одинаково.

Фотографическая широта примененного при съемке негативного материала 1 : 128. Интервал яркостей этого объекта 5 : 1. Допустимый предел погрешности в опре-



Рис. 17. Зимний день. Снимок сделан в пасмурную погоду. Интервал яркостей объекта очень мал и равен примерно 5:1

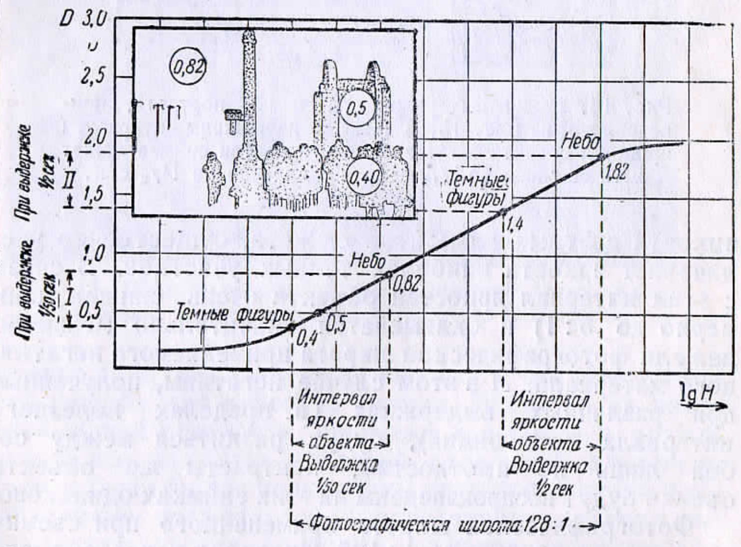


Рис. 18. Допустимый предел погрешности в определении выдержки при съемке сюжета, приведенного на рис. 20

делении времени выдержки будет выражен отношением 128 : 5, т. е. будет равен примерно 25. Этот вывод полностью подтверждается опытом. Так, если при выдержке в $^1/_{50}$ сек. минимальная плотность негатива равна 0,4 (темные фигуры на переднем плане), а максимальная 0,82 (светлые участки неба), то при увеличении выдержки в 25 раз, т. е. до $^1/_2$ сек., плотности тех же участков негатива повысятся соответственно до 1,4 и 1,82, но контрасты изображения, как это явствует из рис. 18, останутся неизменными.

Наименьшая полезная плотность негатива

Проблема точного определения минимально правильного времени выдержки тесно связана с установлением величины наименьшей полезной плотности негатива. Помимо уже выясненной зависимости между количеством воздействующего на светочувствительный слой освещения и плотностями, возникшими в итоге экспонирования и проявления, необходимо остановиться также и на влиянии, оказываемом на величину наименьшей полезной плотности особенностями негативных материалов.

Если область недодержек для данного светочувствительного слоя невелика и характеристическая кривая имеет короткий и крутой начальный участок, то и величина наименьшей полезной плотности $D_{мин}$, а следовательно, и соответствующего ей минимально правильного времени экспонирования $t_{мин}$ будет относительно малой.

Для другого негативного материала, имеющего большую область недодержек, т. е. растянутый начальный участок, величина минимально правильного времени экспонирования t_2 при тех же условиях съемки и проявления будет уже иной. В этом случае, как это показано на рис. 19, величина $D_{мин}$ (для негативного материала, соответствующего кривой с большой областью недодержки) будет значительно большей и может казаться, что время экспонирования во втором случае чрезмерно велико. В действительности же и в подобном случае эта величина вполне удовлетворяет нашему определению минимально правильного времени экспонирования.

Практическое значение точного определения наименьшей полезной плотности негатива особенно велико при цветных съемках и при фотографировании объектов,

отличающихся очень малыми деталями. В этих случаях в связи со значительным рассеянием света в эмульсионных слоях, ведущим к снижению разрешающей способности негативного материала, наилучшие результаты достигаются при возможно малых значениях $D_{мин}$. Время выдержки при таких съемках должно приближаться к точной величине минимально правильной экспозиции, определенной с учетом полезной фотографической широты негативного материала. В случае же несоблюдения

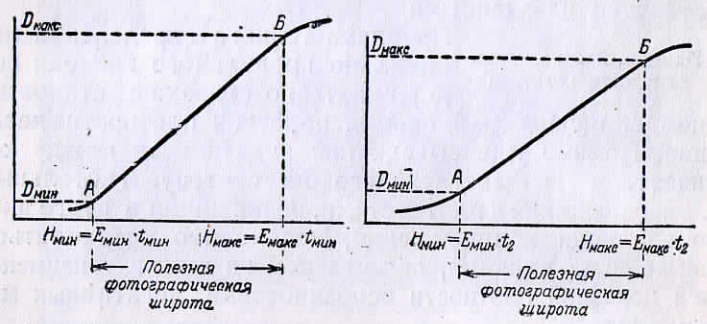


Рис. 19. Использование области пропорциональной передачи контрастов при применении негативных материалов с различными областями недодержек

этого требования и еще большего снижения величины $D_{мин}$, т. е. наименьшей полезной плотности, за пределы нижней границы полезной фотографической широты, необходимая пропорциональность передачи различия яркостей в тенях объекта нарушится. Очевидно, при еще большем уменьшении плотности негатива, т. е. при недодержке, контрасты на более темных участках изображения перестанут различаться и детали в тенях исчезнут.

Примером этого может быть приведенный на рис. 20 фотоснимок памятника архитектуры в селе Коломенском под Москвой. Этот снимок сделан на негативной пленке, обладающей характеристической кривой с большим начальным участком. Время выдержки было выбрано таким, что плотности теневых участков негатива, соответствующих наименее ярким элементам объекта съемки, оказались меньше наименьшей полезной плотности. Это привело к тому, что детали в тенях снимка исчезли полностью. Поэтому при определении времени



Рис. 20. В селе Коломенском. Этот снимок сделан с недодержкой

выдержки следует учитывать и эти особенности применяемых негативных материалов и возможно точнее определять величину минимально правильной выдержки,

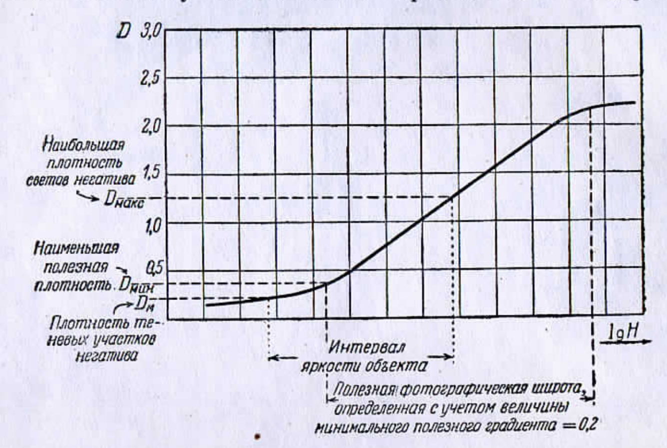


Рис. 21. Кривая показывает, что плотности теневых участков негатива меньше наименьшей полезной плотности

могущей обеспечить наиболее полное использование полезного интервала экспозиций (рис. 21).

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЕЛИЧИНУ ЭКСПОЗИЦИИ

Экспонометрические характеристики объектов съемки

Экспонометрически объекты съемки в основном характеризуются освещенностью, спектральным составом освещающего света, характером поверхности и цветностью снимаемых объектов.

Существенное влияние на их экспонометрические характеристики и конечное качество изображения оказывают также оптические свойства среды, расположенной между объектами съемки и аппаратом.

Так как на светочувствительный слой негативного материала воздействуют световые лучи, идущие от объектов съемки и прошедшие через объектив съемочного аппарата, то помимо влияния других многочисленных факторов, которые будут рассмотрены ниже, освещенность отдельных элементов оптического изображения

определяется в основном яркостью соответствующих им участков объекта.

Коэффициент отражения

Яркость того или иного участка снимаемого объекта определяется его освещенностью и способностью отражать упавшие на него световые лучи. Отражательная способность различных объектов колеблется в довольно широких пределах и характеризуется обычно коэффициентом отражения поверхности, определяющим отношение светового потока, отраженного телом, к упавшему на него световому потоку.

Особенности фактуры поверхностей, отражающих свет, определяют не только величину и характер отраженного светового потока, но и его направление.

В связи с этим различаются три основных вида отражения: направленное, рассеянное и смешанное.

Характерное для гладких, полированных поверхностей направленное, или зеркальное, отражение схематически представлено на рис. 22.

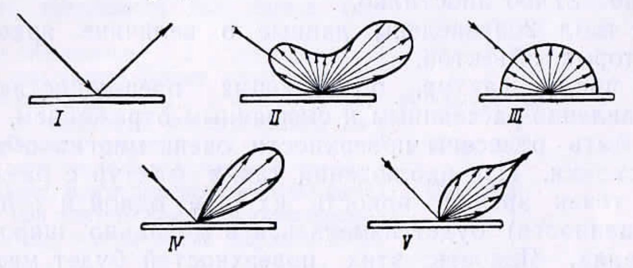


Рис. 22. Кривые распределения яркостей при различных видах отражения: *I* — зеркальном; *II* — рассеянном; *III* — диффузном; *IV* — направленно-рассеянном; *V* — смешанном

При рассеянном отражении световой поток рассеивается по разным направлениям. Необходимо отметить два частных случая рассеянного отражения: диффузное и направленно-рассеянное. К материалам, обладающим направленно-рассеянным отражением, относятся, например, матированные металлические поверхности. К числу поверхностей с диффузным отражением могут быть отнесены шероховатые оштукатуренные поверхности, клеевая покраска и тому подобные матовые фактуры.

Смешанное отражение, характеризующееся сочетанием направленного и рассеянного отражения, также схематически изображено на рис. 22.

На рисунке отчетливо выражена зависимость яркости этих различно отражающих свет поверхностей от направления наблюдения.

Яркость является одной из основых фотометрических величин и характеризует свечение источников света и освещаемых поверхностей. Яркость непосредственно воспринимается глазом и при условии прозрачности среды величина ее не зависит от расстояния до глаза наблюдателя. За единицу яркости принят стильб, равный яркости равномерно светящейся плоской поверхности, испускающей в перпендикулярном к ней направлении свет силой в одну свечу с одного квадратного сантиметра. В экспонометрических замерах и расчетах в качестве единицы яркости поверхности, подчиняющейся закону Ламберта, зачастую применяется апостильб, или «люкс на белом»; стильб = 31 400 апостильб.

В табл. 2 приведены данные о величине яркости некоторых объектов.

К числу фактур, обладающих преимущественно направленно-рассеянным и смешанным отражением, могут быть отнесены поверхности очень многих объектов съемки. При наблюдении таких фактур с различных точек зрения яркость их (при одной и той же освещенности) будет изменяться в довольно широких пределах. Яркость этих поверхностей будет максимально велика в направлениях, приближающихся к углам зеркального отражения.

Коэффициент яркости

Так как именно величиной яркости в направлении камеры определяются экспонометрические яркости объектов съемки и соответствующие им освещенности оптического изображения, то при расчетах экспозиции нас в первую очередь интересуют данные о величине яркости снимаемых объектов, замеренной в направлении камеры. В связи с этим особенности отражения света той или иной поверхностью целесообразно выражать величиной коэффициента яркости, определяющего отношение яркости этой фактуры в данном направлении

Таблица 2

Примерные величины яркости некоторых объектов

Объект	Величина яркости
Солнце, наблюдаемое с поверхности земли при ясном небе	150 000 стильб
Абсолютно белая матовая поверхность, освещенная солнцем (освещенность 100 000 люкс)	3,2 »
Снег под прямыми лучами солнца . . .	80 000—90 000 апостильб (около 3 стильб)
Белая бумага, освещенная прямым солнечным светом	40 000—60 000 апостильб
Белая бумага в тени в солнечный день	7 000—10 000 »
Белая бумага в пасмурный день на открытой площадке	10 000—13 000 »
Здание светлое, облицованное керамической плиткой при солнечном свете	25 000—30 000 »
Асфальт сухой при солнце	11 000—17 000 »
Асфальт сухой в тени	2 500— 4 000 »
Водная поверхность при солнце (по свету)	3 500— 5 000 »
Трава при солнце	5 000—10 000 »
Лицо при солнце (замер интегральной яркости)	14 000—20 000 »
Лицо в пасмурную погоду (замер интегральной яркости)	3 000— 5 000 »
Лицо при черно-белой съемке в кинопавильоне, при освещенности в 1000 люкс	250—400 »
Лицо при цветной съемке в кинопавильоне, при освещенности порядка 5000 люкс	1 250— 2 000 »
Величины средней яркости небосвода при различных состояниях атмосферы	
Белые облака, освещенные солнечным светом	до 100 000 »
Небо, покрытое светлыми облаками . .	28 000—40 000 »
Небо, средняя облачность	12 000—16 000 »
Небо в пасмурную погоду	2 000— 5 000 »
Небо в очень пасмурную погоду . . .	1 000— 3 000 »
Небо в обычный безоблачный день . .	6 000—10 000 »
Небо в очень ясный день	3 000— 5 000 »

к яркости одинаково с ней освещенной абсолютно белой поверхности*.

* Абсолютно белой называется поверхность, диффузно отражающая 100% падающего на нее света, коэффициент отражения которой в связи с этим принят равным единице.

Яркость поверхности при наличии заметного направленного отражения определяется не только освещенностью этой поверхности, но в связи с отражением в ней самого источника света становится функцией его яркости.

Спектральный коэффициент яркости

Коэффициент яркости цветных поверхностей, избирательно отражающих упавший на них световой поток, будет существенно изменяться при изменениях его спектрального состава. Поэтому при определении условий экспонирования следовало бы всесторонне учитывать и величины спектральных коэффициентов яркостей их поверхностей. Но практически при определении времени и условий экспонирования, проводимом с помощью фотоэлектрических приборов, не могут быть полностью учтены все сложнейшие взаимозависимости между цветностью объектов съемки, изменениями спектрального состава освещающего света и цветочувствительностью негативных материалов. Тем не менее в практике определения экспозиции с помощью экспонометров оказывается возможным рассматривать величины экспонометрических яркостей снимаемых цветных объектов как некоторую совокупность их яркостных характеристик.

Интервал яркостей объектов съемки

Как показано в табл. 3, отражательная способность различных объектов колеблется в довольно широких пределах. Поверхности, обладающие максимальным коэффициентом отражения, покрытые окисью магния, отражают до 96% падающих на них лучей, а черный бархат всего лишь 1—3%. Поэтому наибольший возможный интервал яркостей для равномерно освещенного объекта практически не может превышать 90 : 1. Интервал яркостей между одинаково освещенными поверхностями свежевыпавшего снега, отражающего до 78% упавшего на него света, и черного бархата будет примерно равен лишь 50 : 1. Затенив же участки, покрытые черным бархатом, и сохранив освещенность снежной поверхности, мы можем в очень большой степени увеличить интервал яркостей этого объекта. С увеличением различий освещенности отдельных элементов интервалы яркостей снимаемых объектов могут увеличиваться до огромных пределов, достигая 100 000 : 1 и более.

Таблица 3

Отражательная способность различных поверхностей

Поверхность	Вид отражения	Коэффициент отражения
Окись магния	Диффузное	0,96
Алебастр	»	0,92
Серебро полированное	Направленное	0,88—0,93
Матовое серебрение	Направленно-рассеянное	0,7
Стеклянное зеркало	Направленное	0,72—0,85
Хромированная полированная поверхность	»	0,60—0,70
Матовое хромирование	Направленно-рассеянное	0,50
Алюминий полированный	Направленное	0,65—0,75
Алюминий матированный	Направленно-рассеянное	0,55—0,60
Жесть белая	Направленное	0,66—0,69
Снег свежевыпавший	Смешанное	0,75—0,78
Снег тающий чистый	»	0,60—0,62
Бумага белая матовая	Направленно-рассеянное	0,6—0,7
Белая гипсовая поверхность	Диффузное	0,85
Белая клеевая покраска по оштукатуренной поверхности	Приближается к диффузному	до 0,8
Оштукатуренная поверхность	Диффузное	0,4—0,45
Кожа лица	Смешанное	0,25—0,35
Песок белый сухой	Диффузное	0,24—0,32
Песок белый мокрый	»	0,11—0,2
Глина желтая	»	0,16
Тротуар асфальтовый сухой	Смешанное	0,10—0,18
Тротуар асфальтовый мокрый	Направленно-рассеянное	0.06—0,08
Чернозем сухой	Диффузное	0,07—0,08
Чернозем мокрый	Направленно-рассеянное	0,02—0,05
Тес (дерево свежее)	То же	0,35—0,42
Тес старый посеревший	» »	0,12—0,16
Хвойная растительность кроны	Диффузное и направленно-рассеянное	0,08—0,12
Растительность лиственная летом	Направленно-рассеянное	0,09—0,12
Растительность лиственная осенью	То же	0,15—0,30
Шелк белый	Смешанное	0,35—0,55
Черное сукно *	Направленно-рассеянное	0,1—0,12
Черный бархат	Диффузное	0,01—0,03
Черный мех	»	еще меньше

* Высокие поглощающие свойства этих материалов объясняются отчасти их пористостью, благодаря чему упавший на них свет, прежде чем выйти из толщи материала, претерпевает несколько отражений.

При съемке большинства объектов мы наряду с чисто яркостными контрастами сталкиваемся также и с явлениями цветового контраста. В этих случаях определение интервала яркостей осложняется необходимостью учитывать не только количественные различия яркостей тех или иных элементов объекта и фона, но и различия спектральных коэффициентов яркостей их цветных поверхностей.

Установление величины подобного смешанного контраста, определяемого одновременным влиянием яркостного и цветового контраста, очень затруднено. Величина этого контраста в отличие от контраста яркостного не может быть выражена одной какой-либо величиной и поэтому простого выражения меры цветового контраста еще не существует. Но поскольку спектральная чувствительность фотоэлектрических экспонометров заметно приближается к спектральной чувствительности глаза и современных негативных материалов, в практике экспонометрических замеров интервалы яркостей цветных объектов могут быть достаточно точно выражены их яркостными соотношениями, определенными с помощью экспонометра.

В качестве примера приведем средние величины интервала яркостей некоторых наиболее распространенных объектов съемки, сведенные в табл. 4.

Изменения условий натурного освещения и величина интервала яркости объекта

При натурных съемках изменения характера освещения, связанные с высотой стояния солнца, изменениями прозрачности атмосферы и облачности, существенно влияют и на соотношение направленной и рассеянной части солнечной радиации. Эти изменения характера освещающего света не могут не влиять на характер фотографического изображения и сказываются прежде всего на контрасте освещения. Увеличение доли рассеянного света в общем балансе освещения, усиливая высветку теневых участков объекта съемки, заметно понижает контраст изображения. Это уменьшение интервала яркостех снимаемых объектов может при наличии облачности достигать очень больших степеней. При усилении облачности и увеличении количества рассеянного света освещенность элементов, находящихся в тени, может увеличиваться в два-три,

Таблица 4

Интервалы яркостей некоторых объектов съемки

(По данным кафедры операторского мастерства ВГИК)

Объекты съемки	Интервал яркостей
Земная поверхность, видимая с самолета, летом	1:3—1:6
Земная поверхность, видимая с самолета, зимой	1:6—1:10
Пейзаж без переднего плана в тумане	1:2—1:3
Пейзаж без переднего плана при рассеянном свете в пасмурный день	1:5—1:10
Пейзаж без переднего плана при прямом солнечном свете	1:10—1:30
Пейзаж без переднего плана против света . .	1:20—1:40
Пейзаж с передним планом при прямом солнечном освещении	1:20—1:60
Пейзаж с очень темным передним планом при солнечном свете	1:100—1:300
Пейзаж с солнцем в кадре	1:2 000 000
Городской пейзаж без переднего плана в пасмурный день	1:5—1:10
Городской пейзаж без переднего плана при солнечном свете	1:10—1:40
Узкие затемненные улицы с отдельными зданиями, освещенными солнцем	1:100—1:500
Здания темные на фоне неба	1:100—1:200
Темные пролеты и арки мостов и ворот с ярко-освещенными солнцем фонами	1:1000—1:10 000
Группы в солнечный день в зависимости от цвета одежды и направления света	1:20—1:300
Группы в пасмурный день	1:10—1:60
Портрет со светлыми волосами на фоне открытого пейзажа при солнечном освещении . .	1:10—1:12
Портрет с темными волосами на фоне открытого пейзажа при солнечном освещении . .	1:20—1:100
Общие планы в кинопавильоне в зависимости от характера сюжета и освещения	1:10—1:50
Внутренний вид комнаты (без окон в кадре) .	1:8—1:12
Внутренний вид светлой комнаты, снимаемой против окон без подсветки	1:100—1:500
Внутренний вид темной комнаты, снимаемой против ярко освещенных окон без подсветки	до 1:100 000

а зачастую в большее количество раз, причем соответственно снижается интервал яркости объекта. Следствием этого и является столь разительное изменение экспонометрических характеристик и самого характера

изображений объектов, снимаемых в пасмурную погоду или при некоторой, хотя бы даже весьма незначительной белесоватой дымке.

Влияние тумана и дымки

Очень заметное влияние на величину интервала яркости объектов съемки оказывают оптические свойства среды, заполняющей пространство между фотографируемыми объектами и аппаратом. Яркость атмосферной дымки или просвеченного тумана как бы накладывается на яркости всех элементов снимаемых объектов. Не оказывая заметного влияния на увеличение яркости светлых участков, она существенно повышает яркость темных или мало освещенных элементов объекта. Уплотнение тумана и повышение его яркости, а также увеличение расстояния между объектами съемки и аппаратом сильно снижает интервал яркостей объекта. При дальнейшем увеличении плотности дымки или тумана яркость ее, достигнув определенной величины, уравняется с яркостью наиболее светлых элементов объекта. Интервал яркости объекта съемки в этом случае будет 1 : 1, контраст его снизится до нуля и различия яркости станут незаметными. Величина интервала яркости снимаемых объектов, как мы уже отмечали в предыдущей главе, имеет очень большое практическое значение, особенно возрастающее при работе на цветных негативных материалах и съемке контрастных сюжетов. Поэтому широкое распространение приобрел метод определения интервала яркостей объектов съемки с помощью фотоэлектрических приборов. Далее мы подробно рассмотрим методику определения интервала яркости с помощью фотоэлектрических экспонометров.

ОСВЕЩЕННОСТЬ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО СЛОЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ВРЕМЯ И УСЛОВИЯ ЭКСПОНИРОВАНИЯ

Основными факторами, определяющими освещенность светочувствительного слоя, а следовательно, и величину необходимой выдержки, являются яркость снимаемого объекта и светосила применяемой съемочной оптики. При данной яркости объектов съемки освещенность оптического изображения прямо пропорциональна

квадрату относительного отверстия объектива. Время выдержки, необходимое для получения одного и того же фотохимического действия света на светочувствительный слой, будет изменяться обратно пропорционально квадрату относительного отверстия.

Зависимость освещенности светочувствительного слоя от яркости объекта съемки

Если яркость отдельного элемента объекта съемки известна, то освещенность, создаваемая на светочувствительном материале соответствующим ему участком оптического изображения, определится по уравнению:

$$E_{\text{изобр}} = \frac{B_{\text{об}}}{4} \cdot \left(\frac{d}{f}\right)^2,$$

где $E_{\text{изобр}}$ — освещенность участка оптического изображения (в люксах); $B_{\text{об}}$ — яркость объекта съемки (в апостильбах); d — диаметр действующего отверстия, а f — фокусное расстояние объектива.

Не учитывая потерь света в съемочной оптике и влияния других факторов, существенно снижающих освещенность оптического изображения, это уравнение может служить лишь для получения приближенных данных об освещенности светочувствительного слоя и величине необходимой выдержки. Для получения же полных точных данных об освещенности, создаваемой на том или ином участке светочувствительного слоя оптическими изображениями снимаемых объектов, необходимо учесть влияние всех основных факторов, так или иначе влияющих на ее величину. Следует отметить, что в практической работе оператора и фотографа и при проводимых ими экспонометрических замерах эти формулы в связи с их сложностью обычно не применяются. Для уяснения влияния основных факторов, определяющих освещенность светочувствительного слоя, целесообразно остановиться на этом подробнее.

Потери света в объективе и эффективная светосила

Потери света при прохождении световых лучей через объектив складываются из потерь при отражении света от поверхностей линз и поглощения его в толще стекла. В связи с этим в отличие от расчетной светосилы, определяемой лишь геометрическими размерами действующего отверстия и фокусного расстояния и не учитывающей потерь света

в объективе, следует учитывать его так наз. действительную, или эффективную, светосилу. Данные об эффективной светосиле несравненно более полно характеризуют работу оптической системы и обеспечивают возможность сравнительных оценок действительной светосилы объективов различных типов.

Потери света при поглощении его стеклом объектива не превышают обычно 1% на один сантиметр толщины стекла и не оказывают существенного влияния на снижение освещенности оптического изображения. Поэтому для объективов с небольшим фокусным расстоянием влиянием этого фактора можно пренебречь.

Значительно большее влияние на величину эффективной светосилы оказывают потери света, являющиеся следствием его отражения от поверхностей линз. Величина этих потерь возрастает с увеличением показателя преломления стекла и колеблется от 4 до 6,8%.

С удовлетворяющей требованиям практики точностью можно считать, что при отражении света от каждой граничащей с воздухом поверхности линзы отражается примерно 5% упавшего на нее света. Эти потери света резко возрастают с увеличением числа линз объектива и числа несклеенных поверхностей, являющихся поверхностями раздела воздуха и стекла.

Коэффициент пропускания объектива

В табл. 5 приведены сравнительные данные о величине потерь света на отражение для простой линзы и оптических систем с различным числом преломляющих свет поверхностей. В современных сложных объективах, обладающих 6—8 поверхностями раздела стекла и воздуха, общие потери в результате отражения и поглощения света очень велики и достигают 30—40 и более процентов. Коэффициент пропускания таких объективов, определяемый отношением светового потока, прошедшего через объектив, к световому потоку, падающему на него, не превышает зачастую 0,50—0,60.

Эффективная светосила сложных объективов по сравнению с их расчетной светосилой снижается в очень большой степени. В связи с этим при экспонометрических расчетах нельзя оценивать и сравнивать светосилу объективов различных конструкций без учета

коэффициента пропускания лишь по величине относительного отверстия и геометрической светосилы, так как это неизбежно приведет к ошибкам.

Потери света в объективе приближенно могут быть определены по формуле:

$$K = 0{,}95^{n} \cdot 0{,}99^{l},$$

где n — число несклеенных поверхностей линз (принимая потери света при отражении равными в среднем 5%); l — длина пути луча в стекле объектива (в *см*).

Таблица 5

Потери света на отражение в оптических системах

Число линз	Число поверхностей раздела стекла и воздуха (показатель преломления стекла = 1,55)	Яркость выходящего пучка (яркость упавшего на объектив пучка лучей принята равной 1,00)
	2	0,90
2	4	0,82
3	6	0,75
4	8	0,68

В последние годы для уменьшения потерь света и увеличения коэффициента пропускания съемочной оптики широко применяется метод просветления объективов, существенно увеличивающий их эффективную светосилу.

Так, например, по данным В. В. Пуськова если объектив «Юпитер 3» с фокусным расстоянием в 5,0 *см* и относительным отверстием 1:1,5 до просветления обладал коэффициентом пропускания в 72%, то после просветления его коэффициент пропускания возрастает до 91%. Для объектива «Юпитер 12» с фокусным расстоянием в 3,5 *см* и относительным отверстием 1:2,8 эти величины соответственно составляют 68 и 89%.

Для объектива «Индустар 22» с фокусным расстоянием в 5,0 *см* и относительным отверстием 1:3,5, устанавливаемого в малоформатном фотоаппарате «Зоркий», — 69 и 90%.

Освещенность светочувствительного слоя, создаваемая на различных участках кадра оптическими изображениями объектов одинаковой яркости, оказывается максимальной в центре поля и постепенно убывающей к краю изображения.

Спад освещенности к краю изображения

Этот спад освещенности определяется влиянием нескольких основных причин. Некоторые из них являются общими для объективов самых различных типов и не связаны с их конструктивными особенностями.

Падение освещенности к краю поля, определяемое влиянием факторов этой группы, подчиняется определенным общим закономерностям и может быть установлено расчетным путем.

Поскольку расстояние от объектива до любой точки на краю изображения больше расстояния до центра поля в $\frac{1}{\cos\theta}$ раз (где θ — угол, образованный оптической осью объектива и главным лучом, приходящим в эту точку), то освещенность, создаваемая на светочувствительном слое оптическими изображениями объектов съемки для любой точки поля изображения, будет изменяться пропорционально $\cos^2\theta$.

Необходимо учесть при этом, что прошедшие через объектив световые лучи падают на краевые участки поля изображения под некоторым углом. В связи с этим освещенность светочувствительного слоя на краевых участках вследствие известных закономерностей будет изменяться также пропорционально косинусу угла падения лучей на освещаемую поверхность, т. е. пропорционально $\cos\theta$.

Так как яркость прошедшего через объектив светового потока для точек, расположенных в стороне от оптической оси, т. е. для наклонных пучков, будет меньше яркости прямого пучка также в $\cos\theta$ раз, то освещенность удаленных от центра поля участков оптического изображения в силу влияния перечисленных факторов будет в $\frac{1}{\cos^4\theta}$ раз меньше освещенности в центре поля.

Снижение освещенности краевых участков в пределах небольших углов изображения очень невелико и не оказывает существенного влияния на качество фо-

тографического изображения. При применении короткофокусных объективов, обладающих большими углами изображения, спад освещенности заметно усиливается. Количество освещения, полученное светочувствительным слоем на краях изображения, оказывается меньшим, нежели в центре поля. Результатом этого является снижение плотности негатива на краевых участках, особенно усиливающееся в случаях недодержки. Это обстоятельство следует учитывать при построении кадра и установлении освещенности объектов съемки, в тех случаях, когда их изображения расположены на краях поля.

Снижение освещенности краевых участков оптического изображения особенно сказывается при применении киносъемочных объективов с небольшими фокусными расстояниями. Освещенности краевых участков для объективов с фокусным расстоянием от 5,0 до 10,0 *см* в связи с влиянием перечисленных выше факторов составляют примерно 0,85—0,96 освещенности в центре поля, принятой за единицу. При применении короткофокусных объективов освещенности на краях кадра составляют для объектива в 3,5 *см* примерно 0,72, а для объектива с фокусным расстоянием в 2,5 *см* всего 0,54 освещенности середины поля изображения (табл. 6).

Таблица 6

Спад освещенности краевых участков оптического изображения в малоформатных фотоаппаратах

Фокусное расстояние объектива (в *мм*)	Угол изображения по диагонали снимка (в градусах)	Освещенность краевых участков изображения (освещенность в центре поля принята равной 1,00)
28	75,5	0,39
35	63,5	0,55
50	47	0,74
85	28,5	0,91
135	18	0,95

При съемке малоформатными фотоаппаратами, в силу влияния тех же факторов, освещенность краевых участков оптического изображения при применении смен-

ных объективов различных фокусных расстояний изменяется в еще большей степени.

Помимо рассмотренных выше факторов очень большое влияние на спад освещенности краевых участков изображения оказывает также и явление **виньетирования**, теснейшим образом связанное с конструктивными особенностями съемочного объектива. Виньетирование изображения является следствием ограничения оправами линз прошедшего через объектив светового пучка. Виньетирование особенно велико при работе с полным или мало уменьшенным отверстием диафрагмы.

В связи с этим фактическое падение освещенности к краю изображения заметно увеличивается. При диафрагмировании объектива виньетирование уменьшается и при значительном уменьшении величины действующего отверстия становится мало заметным. В этих случаях различия освещенности краевых участков оптического изображения и центра поля обусловливаются в основном лишь влиянием перечисленных выше факторов.

На рис. 23 приведены графики распределения освещенности оптического изображения для некоторых советских киносъемочных объективов (по данным лаборатории испытания оптики киностудии Мосфильм). Из их рассмотрения видно, что освещенность краевых участков кадра для большинства испытанных короткофокусных объективов при относительном отверстии 1 : 2 не превышает 25—40% освещенности центральных участков поля изображения.

Изменение освещенности светочувствительного слоя при увеличении масштаба изображения

Освещенность светочувствительного слоя теснейшим образом связана с масштабом изображения объекта съемки. При изменении расстояния от аппарата до объекта съемки изменяется также и величина относительного отверстия объектива, а следовательно, и освещенность оптического изображения. Эти изменения светосилы объектива, определяя изменения освещенности светочувствительного слоя, должны быть полностью учтены при определении времени и условий экспонирования.

В тех случаях съемки, когда расстояние от аппарата до снимаемого объекта больше 15—20 фокусных

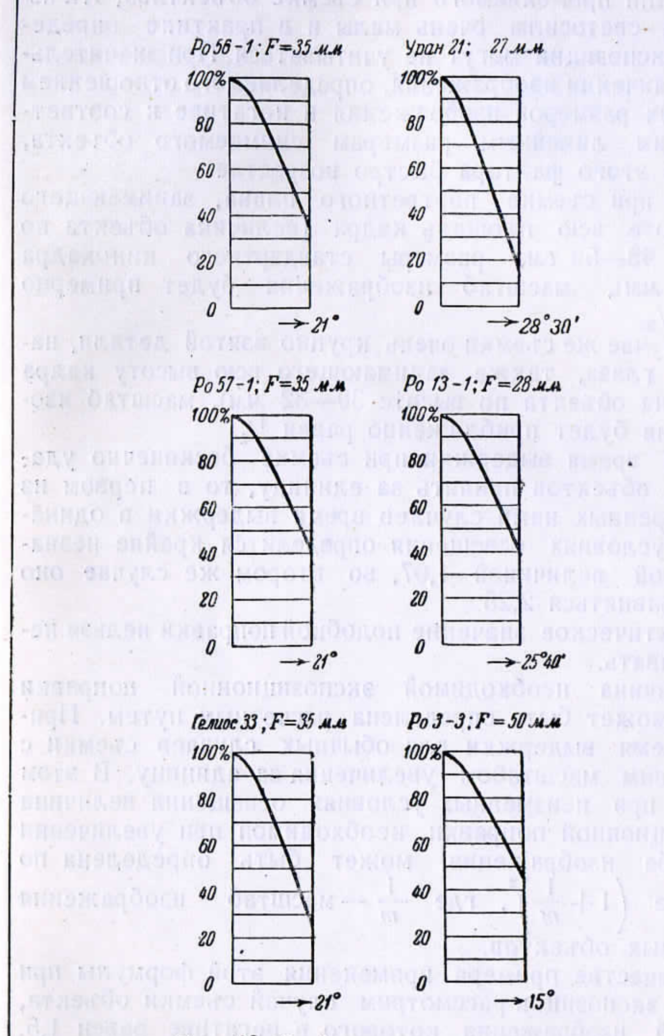


Рис. 23. Графики спада освещенности оптического изображения к краю кадра для некоторых киносъемочных объективов

расстояний применяемого при съемке объектива, эти изменения светосилы очень малы и в практике определения экспозиции могут не учитываться. При значительном увеличении изображения, определяемого отношением линейных размеров изображения в негативе к соответствующим линейным размерам снимаемого объекта, влияние этого фактора быстро возрастает.

Так, при съемке портретного плана, занимающего по высоте всю площадь кадра (величина объекта по высоте 48—50 *см*, размеры стандартного кинокадра 16×22 *мм*), масштаб изображения будет примерно равен $^1/_{30}$.

В случае же съемки очень крупно взятой детали, например глаза, также занимающего всю высоту кадра (величина объекта по высоте 30—32 *мм*), масштаб изображения будет приближенно равен $^1/_2$.

Если время выдержки при съемке бесконечно удаленных объектов принять за единицу, то в первом из рассмотренных нами случаев время выдержки в одинаковых условиях освещения определится крайне незначительной величиной 1,07, во втором же случае оно будет равняться 2,25.

Практическое значение подобной поправки нельзя недооценивать.

Величина необходимой экспозиционной поправки легко может быть определена расчетным путем. Примем время выдержки для обычных случаев съемки с небольшим масштабом увеличения за единицу. В этом случае при неизменных условиях освещения величина экспозиционной поправки, необходимой при увеличении масштаба изображения, может быть определена по формуле $\left(1+\frac{1}{m}\right)^2$, где $\frac{1}{m}$ — масштаб изображения снимаемых объектов.

В качестве примера применения этой формулы при расчете экспозиции рассмотрим случай съемки объекта, масштаб изображения которого в негативе равен 1,5. Размер изображения при этом в полтора раза превышает размеры объекта. Необходимое время выдержки в этом случае окажется равным $(1+1{,}5)^2=2{,}5^2=6{,}25$ и будет в $6^1/_4$ раза превышать величину выдержки при съемке этого же объекта при небольших масштабах изображения.



Рис. 25. Интервал яркостей объекта съемки в этих условиях освещения очень велик и равен примерно 400:1

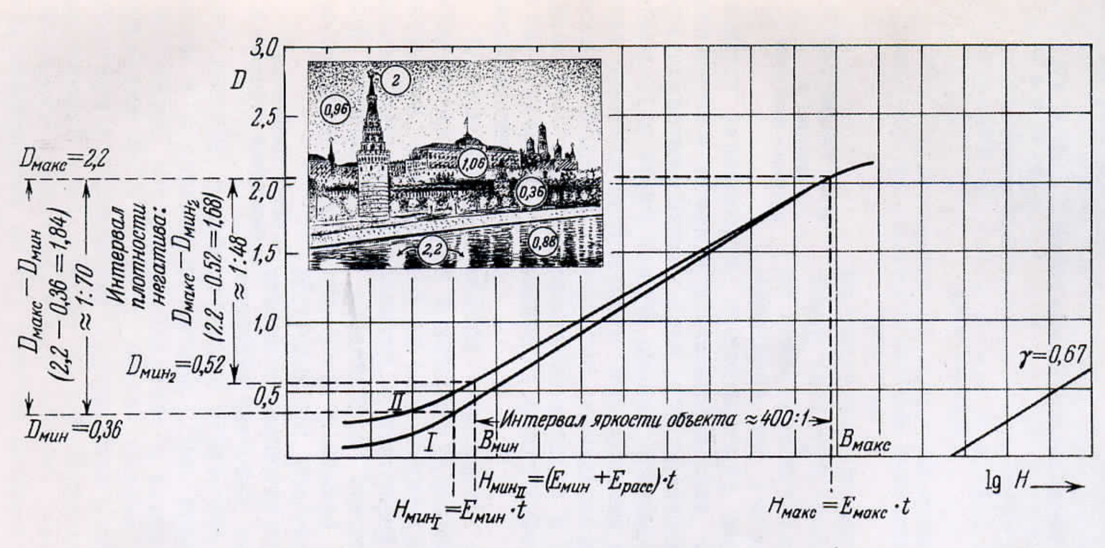


Рис. 26. Влияние светорассеяния в объективе и камере на снижение контрастов изображения объекта съемки, приведенного на рис. 25

Необходимые экспозиционные поправки могут быть легко определены и с помощью номограммы, приведенной на рис. 24.



Рис. 24. Номограмма для определения изменения времени выдержки при увеличении масштаба изображения снимаемых объектов

Рассеивание света в системе объектив—камера

Рассматривая вопрос об освещенности светочувствительного слоя и ее влиянии на время и условия экспонирования, мы учитывали лишь основные зависимости, существующие между яркостью снимаемого объекта и освещенностью, создаваемой на светочувствительном слое его оптическим изображением. Для более точной оценки освещенности отдельных участков оптического изображения и особенностей воспроизведения контрастов снимаемого объекта необходимо учесть также рассеивание света в системе объектив—камера и его влияние на качество фотографического изображения.

Освещенность каждого отдельного участка светочувствительного слоя в аппарате складывается из освещенности, создаваемой на слое оптическими изображениями снимаемых объектов, и некоторой дополнительной освещенности, создаваемой световыми лучами, рассеивающимися в объективе и камере.

Рассеивание света и контраст изображения

Источниками рассеянного света в аппарате являются отражение и рассеивание световых лучей в оптической системе и многократные отражения их внутри камеры и в оправах объектива. При применении непросветленной оптики в объективе и камере рассеивается примерно от 8 до 10% всего количества света. Не участвуя в образовании оптического изображения, этот рассеянный свет создает на светочувствительном слое некоторую дополнительную общую освещенность, накладывающуюся на все участки изображения. Не влияя заметно на увеличение освещенности светлых участков, эта дополнительная подсветка сильно увеличивает

освещенность теневых, малоосвещенных участков светочувствительного слоя и тем самым существенно снижает контраст и цветовые характеристики изображения. В связи с этим влияние рассеивания света становится особенно заметным при наличии в кадре темных и слабо освещенных поверхностей и значительном интервале яркостей объекта съемки. Особенно большое влияние на количество рассеиваемого света, а следовательно, и на снижение контраста изображения оказывает включение в кадр наряду с участками малых яркостей объектов очень большой яркости, например открытых источников света, ярких бликов и т. п.

С усложнением конструкции объективов, т. е. с увеличением числа поверхностей раздела воздуха и стекла, количество рассеиваемого в объективе света быстро возрастает. В среднем в четырехкомпонентных анастигматах при восьми поверхностях раздела стекла и воздуха дополнительная освещенность светочувствительного слоя, создаваемая рассеянным светом, не участвующим непосредственно в образовании оптического изображения, достигает 6% средней освещенности слоя. При применении трехкомпонентных объективов, имеющих шесть поверхностей раздела стекла и воздуха, рассеивается примерно 4—5% всего количества света, образующего оптическое изображение.

В связи с этим минимальная освещенность соответствующих участков светочувствительного слоя, создаваемая оптическими изображениями объектов съемки, яркость которых очень мала, не может снизиться при применении непросветленных объективов ниже 5—10% средней освещенности оптического изображения.

Просветление съемочной оптики почти вдвое снижает количество рассеиваемого света и существенно увеличивает контрастную способность объектива. Исследования, проведенные в лаборатории съемочной техники НИКФИ, показали, что из всего количества света, рассеивающегося в оптике и камере, при применении непросветленных объективов на долю собственно объектива падает от 65 до 75%, а при использовании просветленной оптики 25—35%. Таким образом, даже при применении просветленных объективов световые лучи, рассеивающиеся в результате многократных отражений от линз и оправ объектива, светочувствитель-

ного слоя и деталей камеры, накладываясь на все участки оптического изображения, оказывают заметное влияние на его контраст.

Коэффициент потери контраста

Снижение контрастов изображения может быть характеризовано величиной коэффициента потери контраста, представляющего отношение интервала освещенности оптического изображения к интервалу яркости объекта. Величина коэффициента потери контраста в системе объектив — камера будет существенно изменяться с изменением характера и контрастов объектов съемки. Исследования показали, что для различных объективов и камер величина коэффициента потери контраста в оптическом изображении колеблется в относительно широких пределах и достигает значений от 1,15 до 9,5.

При съемках контрастных объектов интервал освещенности изображения даже при применении просветленной оптики может снизиться по сравнению с интервалом яркости объекта в 2 — 3 и более раз. Таким образом, снижение контраста фотографического изображения, определяемое свойствами негативного материала и условиями проявления, дополняется и усиливается влиянием светорассеяния.

Это обстоятельство при съемке сюжетов с большим интервалом яркости заметно увеличивает допустимые погрешности в определении времени выдержки и приобретает существенное значение с экспонометрической точки зрения

Рассмотрим конкретный пример. Интервал яркости объекта съемки, приведенного на рис. 25, очень велик и равен примерно 400 : 1. Если бы рассеивание света в объективе и камере отсутствовало полностью, освещенности соответствующих участков слоя могли бы быть определены на основании уже известных зависимостей между яркостью снимаемых объектов и освещенностью светочувствительного слоя, создаваемой их оптическими изображениями. В связи с тем, что негатив этого снимка проявлен до γ, меньше единицы, интервал яркостей снимаемого нами объекта воспроизведется в негативе с некоторым сжатием контраста (рис. 26). Интервал плотностей почернения негатива, соответствующих минимальным и максимальным яркостям

объекта, без учета рассеивания света определился бы в этом случае разностью $D_{макс} = 2,2$ и $D_{мин} = 0,36$ и оказался бы равным 70 : 1.

Но в действительности в связи с рассеиванием света в объективе и камере на все участки слоя будет наложена некоторая дополнительная общая освещенность, равная $E_{расс}$. Не увеличивая заметно освещенности светлых участков, эта рассеянная подсветка несколько увеличит освещенности, создаваемые на слое теневыми участками оптического изображения. В результате количество освещения, полученного слоем на этих участках, возрастает до $E_{мин} + E_{расс} \cdot t$ и плотности почернений негатива, соответствующие минимально ярким элементам снимаемого объекта, увеличатся с $D_{мин} = 0,36$ до плотности $D_{мин_2} = 0,52$. Учтя количество освещения $H_{мин_{II}}$, полученного при данном времени экспонирования t отдельными участками светочувствительного слоя, построим характеристическую кривую *II* (рис. 26). Как видно из рисунка, форма этой кривой изменяется особенно сильно в нижней ее части, т. е. на участке недодержки, где прирост освещенности слоя, являющийся следствием рассеивания света, особенно заметен. Поскольку плотность $D_{мин_2} = 0,52$ больше плотности $D_{мин} = 0,36$, в негативе контрасты объекта будут дополнительно снижены, и интервал плотностей почернения негатива окажется равным лишь 48 : 1. Контраст в негативе в этом случае снизится в 8 раз.

При съемке объектов, характеризующихся более равномерным распределением яркостей и меньшими контрастами при применении тех же негативных материалов, объектива и камеры, влияние светорассеяния на снижение контраста изображения оказывается значительно меньшим (рис. 27).

На рис. 28 приведены данные о яркости отдельных элементов объекта съемки, замеренных в направлении камеры. Яркость наиболее темных промежутков между колоннами равна 900 апостильб, а наиболее светлых (светильники из белого молочного стекла) 34 200 апостильб. Интервал яркости этого объекта равен примерно 40 : 1 (рис. 27). Как и в предыдущем примере, негатив проявлен до $\gamma = 0,67$. В результате связанного с этим сжатия контраста негативного изображения и



Рис. 27. У входа в новое здание Московского университета (фото Ю. Гантмана). Интервал яркости объекта съемки равен примерно 40 : 1

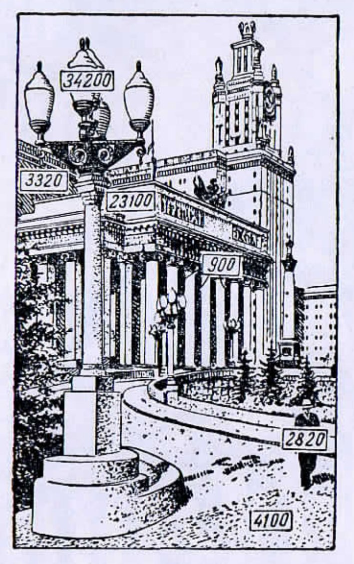


Рис. 28. Распределение участков оптических плотностей на снимке (см. рис. 27)

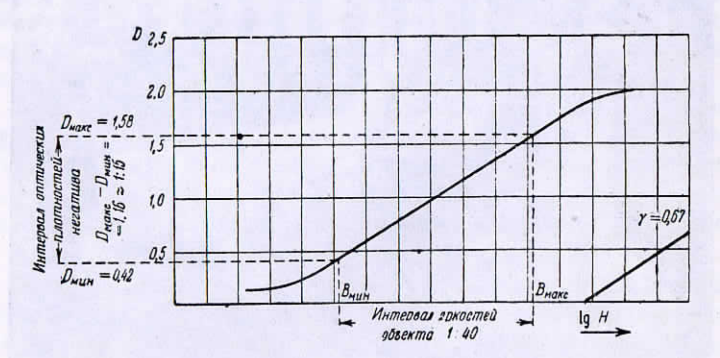


Рис. 29. Кривая показывает, что в результате проявления негатива снимка (см. рис. 27) до $\gamma = 0,67$ интервал плотностей негатива снижается до 1 : 15

влияния светорассеяния интервал плотностей почернения в негативе, как это показано на рис. 29, окажется равным лишь 1 : 15 и будет примерно в 2,6 раза меньше интервала яркости объекта съемки. Учитывая в практической работе это обстоятельство, необходимо иметь в виду, что это снижение контрастов в негативном изображении будет до некоторой степени компенсироваться при печати позитивных копий более высоким контрастом позитивных материалов.

Изучив влияние этих основных факторов, мы сможем полнее выразить зависимости между яркостями объектов съемки и освещенностями соответствующих им участков светочувствительного слоя.

С учетом влияния этих факторов освещенности, создаваемые на светочувствительном слое оптическими изображениями тех или иных элементов снимаемого объекта, яркости которых выражены в апостильбах, могут быть определены из уравнения:

$$E_{\theta_{изобр}} = B_{об} \frac{f^2}{4v^2n^2} \cos^4\theta \cdot \tau \cdot K_{вин} \cdot K_{расс} ,$$

где $E_{\theta_{изобр}}$ — освещенность оптического изображения элемента снимаемого объекта (в люксах); $B_{об}$ — яркость элемента объекта съемки, замеренная в направлении камеры (в апостильбах); f — фокусное расстояние объектива; $n = \frac{f}{d}$ — номер диафрагмы, т. е. величина, обратная относительному отверстию объектива; v — расстояние от задней узловой точки объектива до плоскости изображения в камере; θ — угол между оптической осью объектива и направлением на данную точку изображения; τ — коэффициент пропускания объектива; $K_{вин}$ — коэффициент пропускания объектива для точек, лежащих вне оси, обусловливаемый влиянием виньетирования изображения; $K_{расс}$ — светорассеяние в системе объектив — камера, определенное для конкретного объекта и условий экспонирования.

Объединяя влияние части перечисленных факторов, уравнение можно представить в более простом виде:

$$E_{изобр} = B_{об} \frac{f^2}{4v^2 \cdot n^2} \cdot K,$$

где K — коэффициент потерь света в оптической системе.

ВЛИЯНИЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ЦВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НЕГАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВРЕМЯ И УСЛОВИЯ ЭКСПОНИРОВАНИЯ

Светочувствительность негативных материалов является одной из их важнейших практических характеристик. При применении фотопластинок или пленок, обладающих различной чувствительностью, время экспонирования в одних и тех же условиях съемки должно изменяться обратно пропорционально их чувствительности. Таким образом, применение негативных материалов более высокой чувствительности создает возможность успешного проведения съемок в менее благоприятных условиях освещения и с более коротким временем выдержки, нежели при использовании менее чувствительных пластинок и пленок.

Система ГОСТ

Разработанная советскими учеными система сенситометрии ГОСТ выражает светочувствительность фотографических материалов величиной, обратной величине экспозиции, выраженной в люкс-секундах и вызывающей на фотографическом слое почернения с оптической плотностью 0,2 над плотностью вуали. Светочувствительность фотоматериалов определяется, таким образом, по формуле $S = \frac{1}{H_{D_0+0,2}}$, где S — светочувствительность, выраженная в единицах ГОСТ, а H — величина экспозиции, соответствующая плотности $D_0+0,2$.

Проявление испытываемых пластинок или пленок должно вестись в определенном проявителе до коэффициента контрастности, рекомендованного ГОСТ для данного негативного материала.

Основным преимуществом системы сенситометрии ГОСТ является приближение условий испытания и выражения свойств фотографических материалов к условиям их практического использования при съемках. Относительная практическая чувствительность различных негативных материалов при выражении ее по этой системе сенситометрических измерений оказывается прямо пропорциональной числу единиц ГОСТ.

Светочувствительность фотографических материалов в единицах ГОСТ устанавливается следующим образом. На характеристической кривой, построенной на стандартном сенситометрическом бланке, отмечается точка, соответствующая для данного исследуемого материала плотности 0,2 над плотностью вуали (точка A на рис. 30). Перпендикуляр, опущенный из этой точки

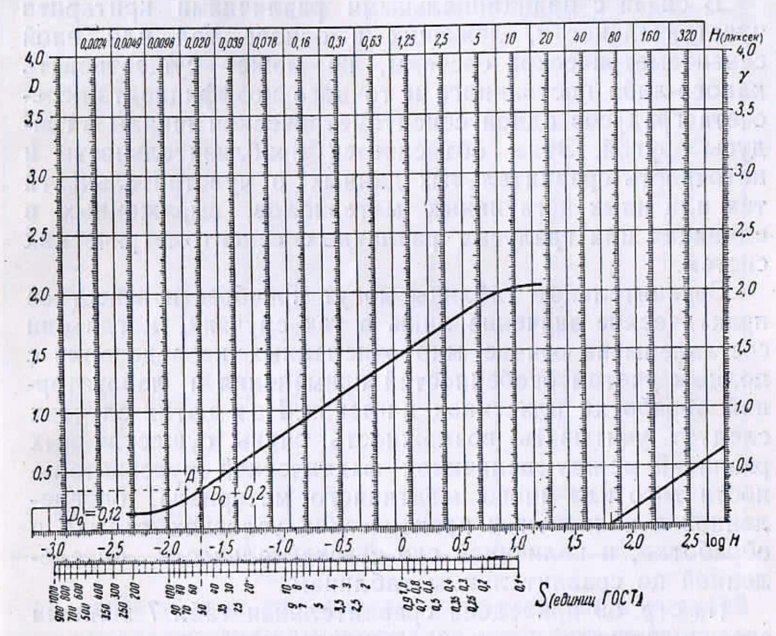


Рис. 30. Определение светочувствительности по сенситометрической системе ГОСТ

на расположенную в нижней части графика шкалу величин светочувствительности, покажет в точке пересечения его с этой шкалой светочувствительность исследуемого материала, выраженную в единицах ГОСТ. Например, чувствительность негативной кинопленки, характеристическая кривая которой приведена на нашем рисунке, при проявлении ее до рекомендованной величины $\gamma = 0,65$ оказывается равной примерно 50 единицам ГОСТ.

В связи с тем, что чувствительность некоторых фотоматериалов и обозначение ее на калькуляторах некоторых фотоэлектрических экспонометров выражается

не в единицах ГОСТ, а в градусах других сенситометрических систем; при экспонометрических расчетах зачастую оказываются необходимыми пересчеты и сравнения между собой величин светочувствительности, определенных по различным методам.

В связи с принципиальными различиями критериев чувствительности, лежащих в основе той или иной сенситометрической системы, не может существовать какого-либо постоянного и точного коэффициента пересчета градусов одной сенситометрической шкалы в градусы другой. Этим объясняется приблизительность и неточность сравнительных данных о чувствительности тех или иных негативных материалов, выраженных в единицах или градусах различных сенситометрических систем.

Сравнительные таблицы могут приобрести известное практическое значение лишь в тех случаях, когда они составлены на основе многочисленных исследований с полным учетом особенностей применения и лабораторной обработки пластинок и пленок. Но и в этих случаях следует учитывать возможность очень существенных различий между величиной фактической чувствительности того или иного негативного материала, определенной в конкретных практических условиях съемки и обработки, и величиной его чувствительности, определенной по сравнительным таблицам.

На стр. 59 приведена сравнительная табл. 7 величин светочувствительности негативных материалов, выраженных в единицах различных сенситометрических систем. В последнем столбце этой таблицы помещены данные об относительной светочувствительности различных материалов.

Вопрос о светочувствительности негативных материалов не может рассматриваться без всестороннего учета их спектральной чувствительности. Это связано с тем, что чувствительность пластинок и пленок в различных условиях съемки оказывается непостоянной и заметно изменяется при изменениях спектрального состава света, освещающего объекты съемки. Различия цветочувствительности негативных материалов определяют поэтому не только характер цветопередачи, но приобретают существеннейшее значение и с экспонометрической точки зрения.

Таблица 7

Сравнительная таблица относительных величин светочувствительности негативных материалов в различных сенситометрических системах

ГОСТ	Хертер и Дрифилд (Х и Д)	ДИН	ВЕСТОН	Дженераль-Электрик	Относительная светочувствительность
6	150	10/10	5	8	0,16
8	200	11/10	6	10	0,2
11	250	12/10	8	12	0,25
16	350	13/10	10	16	0,33
20	400	14/10	12	20	0,4
22	500	15/10	16	24	0,5
25	600	16/10	20	32	0,64
32	700	17/10	24	40	0,8
45	900	18/10	32	48	1,0
50	1 250	19/10	40	64	1,3
65	1 400	20/10	50	80	1,6
90	2 000	21/10	64	100	2,0
100	2 500	22/10	80	125	2,5
130	3 000	23/10	100	150	3,2
180	4 000	24/10	125	200	4,0
200	5 000	25/10	160	250	5,0
250	6 000	26/10	200	300	6,0
300	8 000	27/10	250	400	8,0
400	10 000	28/10	320	500	12,0

В связи с этим при определении времени и условий экспонирования должны неизменно учитываться изменения светочувствительности негативных материалов, связанные с изменениями спектрального состава освещения. Величина экспозиционных поправок, необходимых в тех или иных условиях освещения и компенсирующих эти изменения чувствительности, легко может быть установлена путем пробных съемок.

При определении времени и условий экспонирования с помощью фотоэлектрических экспонометров в связи с изменением спектрального состава естественного освещения и различиями спектральных характеристик искусственных источников света в показания приборов также должны вноситься необходимые поправки, определяемые опытным путем. При съемках, например, проводимых на панхроматических негативных материалах при свете ламп накаливания, величина такой поправки

может достигать 30—40%. Практически эти изменения могут быть учтены путем снижения устанавливаемого на калькуляторе прибора индекса чувствительности негативных материалов примерно до 60—70% светочувствительности, определенной для случаев съемки при естественном освещении или освещении дуговыми приборами с дугами высокой интенсивности.

Светочувствительность многослойных цветных негативных материалов

В связи с небольшой фотографической широтой многослойных негативных пленок резко возрастают требования к точности определения величины выдержки и условий экспонирования при цветных съемках по сравнению со съемками на обычных черно-белых негативных материалах. Одним из основных условий точности экспонометрических расчетов, производимых с помощью соответствующих таблиц или фотоэлектрических экспонометров, является возможно более точный учет светочувствительности применяемых негативных материалов.

Между тем методика сенситометрических оценок и точного выражения чувствительности цветных многослойных пленок в настоящее время еще недостаточно разработана. Поэтому условно в качестве некоторого критерия чувствительности для данной цветной негативной пленки могут быть приняты условия экспонирования, обеспечивающие возможность правильного и не искаженного воспроизведения цвета снимаемого объекта. Сравнивая чувствительность цветной пленки с чувствительностью черно-белых негативных материалов, обеспечивающих в тех же условиях освещения и экспонирования получение высококачественных результатов съемки, можно с достаточной для практических целей точностью условно выразить ее в обычных единицах светочувствительности.

В большинстве случаев чувствительность цветных негативных пленок типа ДС, предназначенных для съемок при естественном освещении и свете приборов с дуговыми лампами высокой интенсивности, колеблется для пленок ДС-1 от 400 до 600°, а для пленок ДС-2 от 800 до 1400° Х и Д, что составляет примерно от 32 до 60 единиц ГОСТ.

Светочувствительность негативных цветных пленок, рассчитанных на использование при искусственном освещении, с применением ламп накаливания достигает для пленок нового типа ЛН-2 от 700 до 1250° Х и Д, примерно от 30 до 50 единиц ГОСТ.

Проявление негативных материалов и его влияние на условия экспонирования

Одним из важнейших этапов в образовании фотографического изображения является проявление скрытого изображения, возникшего в результате экспонирования. Изменение состава проявителя или условий проявления оказывает очень заметное влияние на основные экспонометрические характеристики применяемых негативных материалов — на их светочувствительность, контрастность, фотографическую широту.

В связи с этим в практической съемочной работе при расчетах времени и условий экспонирования необходимо учитывать особенности проявления и его влияние на светочувствительность применяемого негативного материала.

Исследования, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском кинофотоинституте В. И. Шеберстовым, подтвердили, что мелкозернистые проявители с бурой по сравнению с обычными быстро работающими метолгидрохиноновыми проявителями с содой несколько увеличивают светочувствительность негативных материалов. Мелкозернистые проявители с парафенилендиамином и некоторые другие сильно снижают светочувствительность материала и требуют в связи с этим заметного увеличения времени выдержки.

Работы С. М. Антонова, К. И. Мархилевича и других показали также, что проявители этого типа и некоторые другие мелкозернистые проявители несколько увеличивают и фотографическую широту негативного материала. В табл. 8 приведены данные о влиянии на светочувствительность негативных материалов некоторых наиболее распространенных мелкозернистых проявителей по сравнению с обычными метолгидрохиноновыми проявителями.

При определении времени и условий экспонирования с помощью экспонометра эти влияния могут быть учтены по результатам пробных съемок путем установки на калькуляторе прибора соответственно измененного значения чувствительности применяемых пластинок и пленок.

Таблица 8

Влияние некоторых мелкозернистых проявителей на светочувствительность негативных материалов

(по сравнению с обычными метолгидрохиноновыми проявителями)

Тип проявителя	Рецепт проявителя	Влияние на светочувствительность негативного материала
Мелкозернистый метоловый проявитель. Рецепт НИКФИ	Метол . . . . . . 5 *г* Сульфит натрия (безводный) . . 75 *г* Бура кристаллическая 12 *г* Борная кислота . . 4 *г* Вода . . . . до 1000 *мл*	Заметное увеличение светочувствительности, достигающее 1,5—2 раз
Среднее время проявления 12–20 мин. при температуре 20°С		
Проявитель типа Д-76	Метол . . . . . 2 *г* Гидрохинон . . . . 5 *г* Сульфит натрия (безводный) . . 100 *г* Бура кристаллическая 2 *г* Вода . . . . до 1000 *мл*	Заметное увеличение светочувствительности
Среднее время проявления 15–20 мин, при температуре 20°С		
Проявитель «Финаль»	Метол . . . . . 3,5 *г* Гидрохинон . . . 3,5 *г* Сульфит натрия (безводный) . . 50 *г* Лимоннокислый натрий 10 *г* Бура кристаллическая 6 *г* Бромистый калий . 0,4 *г* Гексаметафосфат натрия . . . 0,12 *г* Вода . . . . до 1000 *мл*	Некоторое увеличение светочувствительности
Среднее время проявления 10—15 мин. при температуре 18°С		
Парафенилендиаминовый мелкозернистый проявитель	Сульфит натрия (безводный) . . . 90 *г* Глицин . . . . . . 8 *г* Парафенилендиамин 10 *г* Вода . . . . до 1000 *мл*	Парафенилендиаминовые проявители снижают светочувствительность негативных материалов и требуют поэтому 1,5—2-кратного увеличения выдержки
Среднее время проявления 15—20 мин. при температуре 18—20°С		

Продолжение табл. 8

Тип проявителя	Рецепт проявителя	Влияние на светочувствительность негативного материала
Проявитель «Атомаль»	Бетаоксиэтилортоаминофенол сульфат . 6 *г* Сульфит натрия (безводный) . . 100 *г* Сода (безводная) . 10 *г* Бромистый калий . 0,5 *г* Гексаметафосфат натрия . . . . 1 *г* Вода . . . до 1000 *мл*	Несколько снижает светочувствительность и в зависимости от типа негативного материала требует увеличения выдержки в 1,5—2 раза
Время проявления при температуре 18°С от 8 до 18 мин. (в зависимости от типа негативных материалов)		
Проявитель с тиосульфатом натрия	Метол . . . . . 2,5 *г* Сульфит натрия (безводный) . 25 *г* Гидрохинон . . . 1,25 *г* Двууглекислый натрий . . . . 15 *г* Тиосульфат натрия кристаллический . 0,5 *г* Вода . . до 1000 *мл*	Сильно снижает светочувствительность и требует увеличения выдержки в 2—3 раза
Среднее время проявления 20—25 мин. при температуре 18—20°С		

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И УСЛОВИЙ ЭКСПОНИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ПРОБНЫХ СЪЕМОК

Определение времени и условий экспонирования методом пробных съемок является старейшим и наиболее простым методом в установлении точной величины выдержки.

Простота и надежность этого способа, несмотря на то что применение его связано со значительной потерей времени и неосуществимо вне определенных условий и оборудования, сделали его общеупотребительным.

Практически точную величину экспозиции обычно находят в результате не одной, а по крайней мере двух

или более съемочных проб, отклонения в величине экспозиции которых достаточно велики.

Таким образом, мы получаем некоторый интервал экспозиции, дающий необходимые основания для суждения о времени и условиях экспонирования и его соответствии задачам съемки.

Определение условий экспонирования с помощью экспонограммы

В кинематографической практике метод экспонирования с помощью экспонограммы используется сравнительно часто. Применение его обеспечивает не только определение необходимого количества освещения, но и возможность выбора на основании анализа полученных негативов оптимально правильных условий экспонирования. Практически применение этого метода сводится к получению экспонограммы или экспонометрического клина, т. е. ряда точно дозированных экспозиций, и проявлению негатива в условиях, возможно более приближающихся к условиям его обработки на производстве. В аппаратах, снабженных механизмом автоматического закрытия или раскрытия обтюратора, целесообразно использовать такой автоматически действующий обтюратор для точной дозировки экспозиций, получающихся в результате изменения щели, т. е. угла раскрытия обтюратора. Так как при съемке такой экспонограммы яркость объекта съемки и величина относительного отверстия остаются неизменными, то количество освещения, полученного тем или иным кадром, полностью определяется временем его экспонирования при съемке, т. е. углом раскрытия обтюратора.

Диафрагмирование объектива должно производиться при этом с таким расчетом, чтобы на начальных кадрах экспонограммы, соответствующих максимальному углу раскрытия обтюратора, была обеспечена некоторая передержка.

Так как при использовании автомата угол раскрытия обтюратора во время съемки изменяется непрерывно и равномерно, то для каждого данного кадра экспонограммы легко можно определить и точную величину соответствующей ему экспозиции. Для определения времени, в течение которого экспонировался при съемке тот или иной интересующий нас кадр, необходимо выяснить, каким по счету от начала затемнения является

данный кадр и далее по приводимой формуле вычислить условия его экспонирования:

$$t_n = \frac{\alpha_{\text{макс}} \cdot K_n}{360 \cdot v \cdot O_{\text{закр}}},$$

где t_n — время экспонирования интересующего нас кадра; α — максимальный угол раскрытия обтюратора в начале съемки экспонограммы; K_n — номер кадра по счету от начала затемнения; v — частота съемки (число кадросмен в секунду); $O_{\text{закр}}$ — длина автоматического закрытия обтюратора, выраженная количеством кадров затемнения.

В качестве примера практического применения этой формулы рассмотрим следующий случай съемки экспонограммы. Съемка производилась камерой, длина автоматического затемнения которой равна 64 кадрам. Максимальный угол раскрытия обтюратора, т. е. $\alpha_{\text{макс}} = 175°$. Число кадросмен в секунду $v=24$. Наилучшему качеству негатива, а следовательно, и оптимальным условиям экспонирования в данных условиях съемки соответствует примерно 28-й кадр экспонограммы, считая от начала затемнения, т. е. $K_n=28$. В этом случае время экспонирования данного кадра, т. е. t_{28}, окажется равным $\frac{175 \cdot 28}{360 \cdot 24 \cdot 64} = \frac{1}{112}$ сек. и будет в 2,28 раза меньшим, нежели при полном раскрытии обтюратора. Итоги этого расчета обеспечивают возможность точного установления необходимого в данных условиях съемки раскрытия обтюратора и диафрагмирования.

При применении ручных автоматических киносъемочных аппаратов с постоянным углом раскрытия обтюратора съемки экспозиционных проб производятся обычно с помощью изменения величины действующего отверстия объектива.

ПРИМЕНЕНИЕ ТАБЛИЦ И КАЛЬКУЛЯТОРОВ

Накопленный в практической работе обобщенный многолетний опыт привел к появлению таблиц и графиков, способствовавших определению правильного времени экспонирования в заданных условиях съемки. В большинстве случаев в основу их расчета положены

величины выдержки, установленные опытным путем для различных перечисленных в таблицах объектов, фотографируемых в определенных условиях.

В таблицах вычислены величины выдержки или поправочные коэффициенты, соответствующие конкретным условиям съемки и определяемые влиянием на величину выдержки следующих факторов, подлежащих учету:

а) характер объекта съемки и его экспонометрические показатели;

б) географическое положение места съемки;

в) время съемки (месяц, время дня);

г) состояние неба;

д) светочувствительность применяемых негативных материалов;

е) величина относительного отверстия объектива;

ж) кратность применяемого светофильтра.

Очень важным для разработки таких таблиц явилось то обстоятельство, что освещенность, создаваемая на объектах съемки светом безоблачного неба и солнца для данного времени и географического пункта при одних и тех же атмосферных условиях, оказывается практически постоянной величиной.

На основе этого были разработаны таблицы, в которых применительно к данным условиям приведены значения освещенности, создаваемой дневным светом для каждого дня и часа.

В некоторых таблицах для определения времени выдержки, соответствующей тем или иным условиям съемки, оказывается необходимым перемножить между собой ряд величин, определяемых влиянием различных факторов. В большинстве таблиц эти величины выражаются логарифмически, умножение в этих случаях заменяется более удобным сложением, после чего в соответствующих графах по итогу находится искомое время выдержки.

В связи с тем, что эти вычисления оказываются на практике довольно кропотливыми и отнимающими немало времени, были сконструированы приспособления, построенные по принципу счетной линейки, а также в виде различных подвижных круговых шкал, совмещающихся со шкалами неподвижных кругов. К их числу относятся многие выпускаемые в настоящее время калькуляторы времени и условий экспонирования. При исчислении величины выдержки в этих приборах учитываются основные экспонометрические факторы.

Принципиальным недостатком таблиц и калькуляторов экспозиции этого типа является обилие трудно классифицируемых факторов и смешение постоянных для данной съемки величин с переменными факторами, не могущими быть точно определенными.

Несмотря на кажущуюся точность этих таблиц и калькуляторов, а также на то, что они составлены на основании многочисленных наблюдений, нельзя переоценивать точность и надежность даваемых ими результатов. Следует иметь также в виду, что результаты вычислений никогда не могут быть более точными, нежели исходные данные, положенные в их основу. В рассматриваемом же случае многие из этих данных (классификация объектов съемки, состояние неба, условия освещения и т. п.) определяются произвольно, на глаз.

Из изложенного можно сделать вывод, что основным недостатком этого метода определения времени и условий экспонирования является субъективность и неопределенность оценки ряда важнейших экспонометрических факторов, причем многие обстоятельства съемки, имеющие важное, а иногда и решающее значение, не могут быть учтены с необходимой точностью.

ОБЪЕКТИВНАЯ ЭКСПОНОМЕТРИЯ

Значение объективных методов определения времени и условий экспонирования

Практика определения времени и условий экспонирования по таблицам или с помощью различных фотометров не могла обеспечить необходимого качества и постоянства результатов съемки. Поэтому вполне оправданным было стремление к созданию приборов, обеспечивающих возможность объективных количественных оценок особенностей снимаемых объектов и освещения. На протяжении всей истории фотографии изобретательская и конструкторская мысль особенно активно работала в этом направлении. Было предложено много всевозможных приспособлений и устройств, которые должны были способствовать практическому разрешению этой важной проблемы.

Появление в 1932 году первых образцов экспонометров принципиально нового типа, построенных на

фотоэлектрической основе, способствовало разработке и внедрению в кинопрактику новейших экспонометрических методов.

Широкое использование фотоэлектрических устройств для целей экспонометрии существенно облегчалось тем, что применение фотоэлементов для измерения лучистой энергии началось с первых же шагов изучения русским ученым профессором Столетовым явления фотоэффекта, и ко времени внедрения их в практику кино- и фотосъемки методика соответствующих измерений была разработана с достаточной полнотой.

Возможность проведения замеров яркости или освещенности снимаемого объекта с помощью точных приборов в любых условиях и получения необходимых количественных характеристик этих величин значительно облегчила разрешение проблемы правильного экспонирования.

Впервые в практике съемки в результате непосредственных измерений на съемочной площадке оказалось возможным решить уравнение $H = E_{слоя} \cdot t$, где $E_{слоя} = B_{об} \frac{f^2}{4v^2 n^2} \cdot K$ не эмпирически, а с точностью, вполне достаточной для обеспечения необходимых качественных результатов.

В приведенном уравнении $E_{слоя}$ — освещенность светочувствительного слоя, создаваемая соответствующим участком оптического изображения; $B_{об}$ — яркость объекта съемки, замеренная в направлении камеры; v — расстояние от задней узловой точки объектива до плоскости изображения в камере; $n = \frac{f}{d}$ — номер диафрагмы, т. е. величина, обратная относительному отверстию объектива; K — коэффициент потерь света в оптической системе.

Исключительные преимущества фотоэлектрических приборов, объективность получаемых с их помощью результатов измерений, значительное постоянство их общей и спектральной чувствительности, близость ее к спектральной чувствительности глаза обеспечили им самое широкое внедрение во все области фотометрических измерений.

В связи с очень малой широтой и ограниченностью цветового охвата современных многослойных пленок

методы объективной экспонометрии приобрели в практике цветных съемок особенно большое значение.

Определение условий экспонирования с помощью фотоэлектрических приборов

Принципиальная схема фотоэлектрических светоизмерительных приборов приведена на рис. 31. Приборы состоят в основном из фотоэлемента с селеновым слоем и связанной с ним электроизмерительной системы постоянного тока, представляющей собой стрелочный магнитоэлектрический микроамперметр. Диапазон и точность производимых с их помощью измерений зависят не только от чувствительности самого фотоэлемента, но и от чувствительности включенного в цепь прибора электроизмерительного устройства.

В большинстве приборов в зависимости от их назначения шкалы микроамперметров градуированы в абсолютных единицах величин освещенности, или яркости.

Применяются также приборы, шкалы которых градуированы в условных единицах.

Чувствительная поверхность фотоэлемента

Микроамперметр

Рис. 31. Принципиальная схема фотоэлектрического люксметра-светомера, предназначенного для измерения освещенности снимаемого объекта

В простейшем виде такие приборы предназначались для измерения освещенности снимаемой сцены. Расчеты времени и условий экспонирования, проводимые на основе измерений величины освещенности без учета особенностей объекта съемки и условий освещения его сюжетно важных элементов, во многих случаях приводили к серьезным ошибкам в определении экспозиции.

Конструкция приборов, предназначенных для измерения яркости объекта съемки (так называемых яркомеров, рис. 32), в основном повторяет принципиальную схему люксметров, или светомеров, предназначенных для измерения освещенности, и отличается от них лишь наличием ограничителей угла охвата прибора, представляющих собой решетчатые бленды с ячейками различной формы, решетчатые бленды с линзовым растром, обычные бленды, плосковыпуклые линзы и т. п.

Так как в основе применения большинства экспонометров, т. е. приборов, специально предназначенных для определения экспозиции и снабженных калькулятором, лежит измерение яркости объекта съемки, то непременным условием удовлетворительности работы экспонометра-яркомера является такое ограничение угла охвата, при котором на чувствительную поверхность фотоэлемента не могли бы воздействовать посторонние лучи, не исходящие от объекта съемки.

Таким образом, минимальным требованием, определяющим степень ограничения угла охвата прибора, является уравнение этого угла с углом изображения объектива, применяемого при съемке.

Однако и в этом случае исключается возможность измерения яркостей объектов, небольших по площади, но зачастую существенно важных для данного сюжета, без очень значительного приближения экспонометра к измеряемой поверхности. Точное измерение яркости определенного участка объекта съемки подменяется, таким образом, замером лишь его средней интегральной яркости. Даже при замерах яркости небольших участков фактурной поверхности, несмотря на то, что мы отчетливо различаем структуру и характеризующие ее микроблики и тени, итоги замеров также представляют собой лишь оценки некоторой средней яркости.

Ограничитель угла охвата прибора (решетчатая бленда с линзовым растром)

Микроамперметр

Рис. 32. Принципиальная схема фотоэлектрического яркомера, предназначенного для измерения яркостей объекта съемки

Отклонения стрелки-указателя микроамперметра определяются при этом не минимальной или максимальной яркостью объектов съемки или яркостью сюжетно важных участков кадра, а весьма неопределенной величиной средней яркости, зависящей от соотношения площадей, занимаемых деталями объекта различной яркости.

Это обстоятельство во многих случаях может привести к существенным ошибкам в определении времени и условий экспонирования.

В качестве примеров, иллюстрирующих это положение, приведем следующие случаи из съемочной практики.

В первом из них объектом съемки является ярко освещенная человеческая фигура, занимающая относительно небольшую часть площади снимка и расположенная на темном, слабо освещенном фоне. Различия яркостей объекта и фона очень велики. Во втором случае та же ярко освещенная фигура расположена на светлом, освещенном фоне.

При замере с помощью экспонометра яркостей снимаемых сцен на чувствительную поверхность фотоэлемента наряду с лучами, отраженными от снимаемой фигуры, упадут также и световые лучи, отражаемые всеми остальными разнояркими элементами сюжета. Стрелка-указатель электроизмерительного устройства экспонометра покажет при этом некоторую суммарную среднюю яркость всего объекта съемки в целом.

В этих случаях при одинаковой яркости фигуры суммарное количество световой энергии, воздействующей на фотоэлемент экспонометра, окажется различным. Если эту среднюю суммарную величину яркости объекта съемки положить в основу исчисления необходимых условий экспонирования, то величина выдержки окажется по отношению к основному элементу сюжета, т. е. человеческой фигуре, в первом случае чрезмерно завышенной, и негатив на этом главном, сюжетно важном участке будет передержанным. Во втором случае различия яркостей объекта и фона невелики, и величина выдержки, определенная в соответствии с показаниями экспонометра, окажется правильной.

В первом из рассматриваемых случаев избежать ошибки можно будет лишь тогда, когда измерение яркости соответственных элементов объекта съемки будет производиться с учетом угла охвата прибора, в непосредственной близости к измеряемой поверхности. Показания экспонометра будут определяться при этом конкретной яркостью каждого из замеряемых участков поверхности снимаемого объекта, и расчет величины выдержки сможет быть произведен в соответствии с яркостью основных сюжетно важных элементов изображения.

Это обстоятельство делает вполне оправданным требование значительного уменьшения угла охвата

экспонометров-яркомеров. Но несмотря на очевидную целесообразность, возможность осуществления этого требования ограничивается чувствительностью фотоэлементов и микроамперметров.

При значительном ограничении угла охвата прибора количество света, попадающего на чувствительную поверхность фотоэлемента, уменьшается. Следствием этого является снижение чувствительности прибора в целом и существенное повышение величины минимальной, еще могущей быть замеренной яркости.

В большинстве применяемых в кинопроизводстве и при фотосъемках экспонометров величина угла охвата колеблется в пределах от 50 до 70°. В отдельных приборах, имеющих прямоугольную форму чувствительной поверхности фотоэлемента, угол охвата в вертикальной плоскости существенно отличается от угла охвата по горизонтали (рис. 33).

Относительно малый угол охвата имеет советский экспонометр ЭП-4, разработанный НИКФИ и выпускаемый заводом МКИП. В этом приборе, представляющем собой комбинацию люксметра и яркомера, угол охвата насадки для измерения яркости равен приблизительно 45° (рис. 34). При измерениях малых яркостей, производимых без насадки, угол охвата равен примерно 100°.

Чувствительность фотоэлектрических экспонометров

Чувствительность фотоэлектрических экспонометров-яркомеров разных типов неодинакова. Минимальное значение точно измеряемой яркости при углах охвата порядка 50—60° для большинства приборов, применяемых в любительской практике, составляет 300—500 апостильб. Чувствительность этих экспонометров обеспечивает поэтому возможность замеров яркости лишь хорошо освещенных объектов. Для того чтобы практически охарактеризовать эти величины, следует указать, что эти яркости соответствуют яркости лица человека при освещенности в 1000—1500 люкс, обычной для съемок в кинопавильоне, проводимых на черно-белых негативных материалах. При фотосъемке уровень освещенности объектов съемки оказывается в большинстве случаев значительно меньшим. В связи с этим измерение яркостей как отдельных участков, так и объектов съемки в целом при помощи многих существующих моделей экспонометров-яркомеров в настоящее

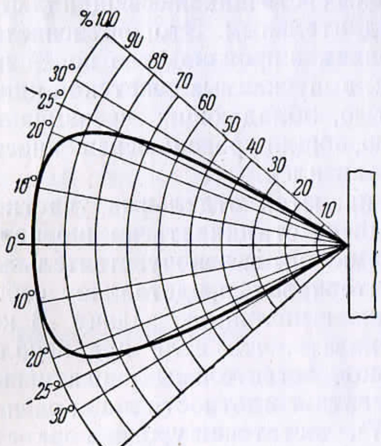


Рис. 33. Кривая, характеризующая угол охвата экспонометра ЭП-4, снабженного насадкой для измерения яркостей

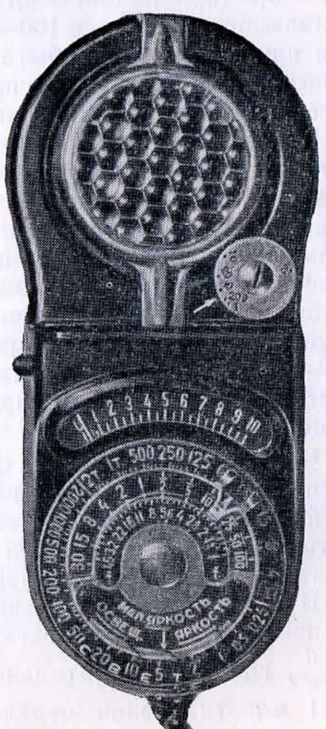


Рис. 34. В советском экспонометре ЭП-4 насадка для измерения яркостей объектов съемки представляет собой оптическое устройство, состоящее из многолинзового растра и сотообразной решетки

время в практике черно-белой киносъемки в павильоне и фотосъемки при искусственных источниках освещения становится все более затруднительным. Это объясняется тем, что в связи с внедрением в производство новейших сортов негативных пленок, выпускаемых советской кинопленочной промышленностью, обладающих чрезвычайно высокой чувствительностью, общий уровень освещенности снимаемой сцены резко понизился.

В этих случаях замер яркостей отдельных участков кадра, с которыми приходится сталкиваться кинооператору и фотографу при съемке на высокочувствительных черно-белых негативных материалах, представляет собой подчас практически трудно выполнимую задачу. В качестве примера можно указать, что если при использовании современных высокочувствительных негативных пленок для получения в негативе плотности лица, равной 0,8 — 0,9 (при $\gamma=0{,}67 - 0{,}7$), достаточен уровень яркости снимаемого объекта в 100 — 150 апостильб, то минимальная яркость, могущая быть замеренной с помощью большинства применяемых экспонометров-яркомеров, должна быть не ниже 300—500 апостильб.

Так как от нижней границы чувствительности зависит возможность использования прибора для определения условий экспонирования при малых освещенностях объектов съемки, то усилия конструкторов в последнее время были направлены на существенное увеличение чувствительности экспонометров. Так, в последней модели советского экспонометра ЭП-4 нижняя граница замеряемого диапазона малых яркостей понижена до 50 — 100 апостильб, что значительно расширяет возможности применения этого прибора в условиях малых освещенностей.

Чувствительность различных фотоэлектрических экспонометров в области наименьших замеряемых яркостей может быть сравнительно оценена по освещенности фотоэлемента, вызывающей отклонение стрелки прибора на какую-либо определенную величину, например на 1 *мм*.

В этом случае сравнительная чувствительность экспонометров может быть подсчитана по формуле $S = \frac{d}{E}$, где S — относительная чувствительность прибора на 1 *мм* отклонения стрелки; d — отклонение стрелки микроамперметра (в *мм*); E — освещенность чувствительной поверхности фотоэлемента (в люксах), или яркость замеряемой поверхности (в апостильбах на 1 *мм* отклонения стрелки).

Величины освещенности отдельных элементов снимаемого объекта могут колебаться в очень широких пределах — от нескольких десятков до ста и более тысяч люкс. Яркости объектов съемки могут колебаться в еще более широких пределах. Между тем размеры шкалы микроамперметра ограничивают диапазон проводимых измерений. В связи с этим обычно применяются фотоэлектрические экспонометры с двумя и большим числом диапазонов измерений.

Цветочувствительность

Успешное применение в объективной фотометрии различных видов фотоэлектрических приборов можно считать обеспеченным только в случаях сравнения яркостей (или освещенностей) с равными или по крайней мере очень близкими спектральными характеристиками. При экспонометрических измерениях наряду с определением уровней яркости снимаемой сцены особое значение приобретает также правильная оценка замеренной яркости с точки зрения фотографической актиничности света, отраженного объектами съемки, и его воздействия на светочувствительный слой применяемого негативного материала.

Полученные с помощью экспонометра данные о яркости, или освещенности снимаемого объекта не дают прямых оснований для анализа светового потока и суждений о его спектральном составе.

В связи с этим необходимо определить, в какой мере применяемые в современных приборах селеновые фотоэлементы соответствуют требованиям, предъявляемым к фотографическим экспонометрам. В идеальном случае спектральная чувствительность такого экспонометра должна полностью совпадать со спектральной чувствительностью негативного материала, определенной с учетом спектрального пропускания применяемой съемочной оптики и светофильтров. Только при соблюдении этого условия показания экспонометра могут быть использованы с достаточной уверенностью в правильности полученных результатов.

В случаях несовпадения спектральных характеристик применяемого фотоэлемента и негативного материала в экспонометрические расчеты должны вноситься те или иные поправки.

Значение этих поправок определяется цветочувствительностью негативного материала, характером объекта съемки и спектральным составом освещения.

Спектральная чувствительность фотоэлементов, применяемых в экспонометрической практике, близка к спектральной чувствительности среднего человеческого глаза. Кривые спектральной чувствительности даже лучших современных панхроматических негативных материалов, несмотря на существенное улучшение их качества, все еще отличаются от кривой спектральной чувствительности глаза.

Из сравнительного рассмотрения данных о величинах относительной спектральной чувствительности человеческого глаза и селенового фотоэлемента видно, что относительная чувствительность фотоэлемента в области фиолетовой, синей, синезеленой и оранжево-красной зон спектра значительно превышает величину относительной чувствительности глаза (табл. 9, рис. 35)

Сравнивая спектральную чувствительность фотоэлемента, среднего панхроматического негативного материала и человеческого глаза, можно заключить, что фотоэлементы по распределению своей спектральной чувствительности и ее соответствию спектральной чувствительности панхроматического материала заметно превосходят нормальный человеческий глаз.

Проанализируем это более подробно: в то время как чувствительность глаза для длины волны в 420 миллимикрон (фиолетовый) равна лишь 0,4% своей максимальной чувствительности, чувствительность селенового фотоэлемента достигает 56%. Относительная средняя чувствительность панхроматического негативного материала для этой длины волны равна 77%.

При длине волны в 460 миллимикрон (синие) относительная чувствительность глаза, фотоэлемента и панхроматического негативного материала равны соответственно 6, 68 и 87%; при 520 миллимикронах (зеленые)— 71,6, 87 и 30%; при 680 миллимикронах (красные) — 1,7, 12 и 8%.

Из сравнительного сопоставления этих величин можно сделать вывод, что фотоэлементы с селеновым слоем по своей спектральной чувствительности в основном обеспечивают возможность их успешного применения при экспонометрических замерах.

Таблица 9

Относительная спектральная чувствительность приемников лучистой энергии

(в процентах)

Длина волны (в миллимикронах)			Человеческий глаз	Селеновый фотоэлемент (средние данные)	Панхроматический негативный материал
Ультрафиолетовые	Невидимые лучи	340	—	26	35
		360	—	35	44
		380	—	42	55
Фиолетовые	Видимые лучи	400	0,04	50	66
		420	0,4	56	77
		440	2,3	62	89
Синие		460	6,0	68	87
		480	13,9	74	47
Сине-зеленые		500	32,3	81	31
Зеленые		520	71,6	87	30
Желто-зеленые		540	95,4	94	32
Желтые		560	99,5	99	34
		580	87,0	99	33
Оранжевые		600	63,1	95	32
		620	38,1	83	31
Красные		640	17,5	61	26
		660	6,1	30	18
		680	1,7	12	8
		700	0,41	4	2
Темно-красные		720	—	—	—
		740	—	—	—
		760	—	—	—
Инфракрасные	Невидимые лучи	780	—	—	—

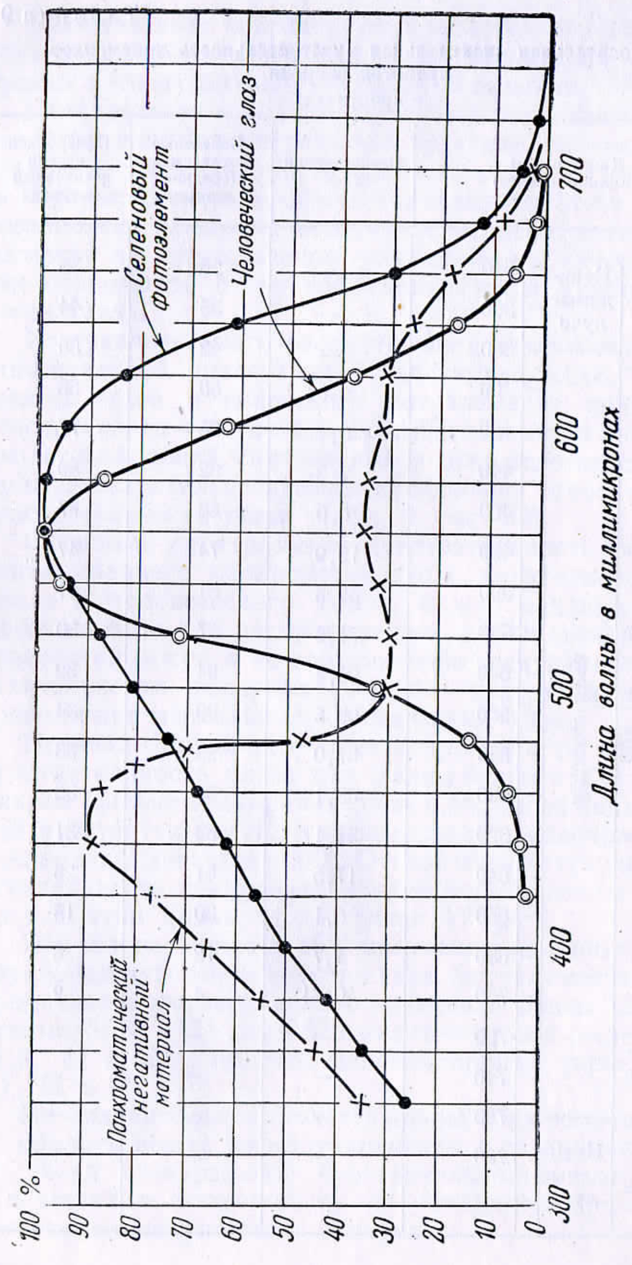


Рис. 35. Относительная спектральная чувствительность селенового фотоэлемента, панхроматического негативного материала (средние данные) и человеческого глаза (в %)

Результаты проводимых с их помощью измерений оказываются несравненно более точными, нежели итоги самых тщательных визуальных оценок освещенности или яркости снимаемых объектов. Данные о времени и условиях экспонирования, полученные на основе этих измерений, практически не существенно разнятся от точных значений величин экспозиций, необходимых в тех или иных условиях съемки. Оценки же, производимые на глаз с помощью визуальных методов, колеблются при изменениях спектрального состава освещения столь значительно, что можно считать исключенной возможность получения с их помощью сколько-нибудь устойчивых и постоянных качественных результатов съемки.

Необходимо отметить, что глаз человека, несмотря на все присущие ему недостатки, остается все же единственным критерием оценок естественности фотографического воспроизведения тонов. Поэтому одним из основных требований, предъявляемых к негативному материалу для черно-белой съемки, является всемерное повышение его светочувствительности и улучшение цветопередачи путем возможного приближения кривой спектральной чувствительности эмульсии к кривой чувствительности человеческого глаза. Чем меньше будут различия в цветочувствительности негативного материала и глаза, тем меньшими окажутся возможные ошибки в определении величины экспозиции с помощью фотоэлектрического экспонометра.

Таким образом, можно сделать вывод: чем ближе цветочувствительность негативного материала к спектральной чувствительности глаза, тем лучшие результаты дает при работе на нем применение фотоэлектрического экспонометра.

При применении негативных материалов меньшей цветочувствительности в итоги подсчетов величины экспозиции следует внести соответствующие поправки. Это оказывается особенно необходимым при съемке на ортохроматических пластинках, так как ошибки в определении величины экспозиции с помощью фотоэлектрических приборов при их применении оказываются недопустимо высокими в связи с различиями их спектральной чувствительности.

При применении обычных панхроматических негативных пленок эти отклонения оказываются значительно

меньшими и в условиях естественного освещения увеличиваются лишь при съемке объектов, освещенных светом голубого неба (без прямого солнечного света).

Поэтому для точного определения величины выдержки необходимо учитывать изменения чувствительности применяемых пленок или пластинок, являющиеся следствием колебаний спектрального состава освещения. В интересующих нас условиях освещения следует установить путем пробных съемок чувствительность используемых негативных материалов и эти данные положить в основу экспонометрического расчета, проводимого с помощью калькулятора.

Советская кинопленочная промышленность достигла значительных успехов в создании высокочувствительных панхроматических негативных эмульсий, по своей спектральной чувствительности несколько приближающихся к спектральной чувствительности глаза.

Поэтому уже на сегодняшний день значительное улучшение цветочувствительности черно-белых негативных материалов и широкое развитие цветных съемок делает практически оправданным широкое применение фотоэлектрических экспонометров.

Температурные влияния

Известное влияние на работу фотоэлементов и отсюда на точность показаний экспонометра оказывает изменение температуры. Влияние температурных колебаний на точность проводимых экспонометрических измерений практически сказывается лишь при очень больших колебаниях температуры, связанных с изменениями времени и места съемки.

Исследования показали наличие большого отрицательного температурного коэффициента. Это значит, что с возрастанием температуры величина фототока быстро убывает. При обычных температурных условиях это убывание величины генерируемого элементом фототока достигает 0,2 — 0,3% на каждый градус прироста температуры. При дальнейшем повышении температуры до 40 — 50° убывание величины фототока заметно ускоряется. При понижении температуры величина фототока увеличивается.

Проведенные исследования показали, что величина фототока достигает своего максимума при снижении температуры до 2 — 6°С. При дальнейшем снижении температуры прирост величины фототока заметно уменьшается.

В пределах небольших колебаний температуры практическим влиянием этого фактора на результаты экспонометрических замеров можно пренебречь. При значительном же повышении температуры, как это имеет место в работе, например, в среднеазиатских республиках, влияние температурного фактора увеличивается столь значительно, что при определении величины экспозиции в результаты измерений придется внести необходимый поправочный коэффициент.

Длительное хранение фотоэлектрического экспонометра при температурах порядка 50°С заметно снижает чувствительность прибора. В связи с этим не следует подвергать экспонометр длительному перегреву.

Постоянство показаний экспонометров

При оценке постоянства работы фотоэлектрических экспонометров необходимо различать и раздельно рассматривать непостоянство их действия в связи с явлениями кратковременного утомления и изменения их чувствительности на протяжении длительного периода времени. Если фотоэлемент прибора подвергнуть действию освещенности порядка 100 000 люкс (примерно равной величине освещенности, создаваемой солнцем в летние месяцы), то уже спустя несколько минут с момента начала воздействия света можно будет отметить значительное падение величины генерируемого им фототока, достигающее 30 — 50% и выше. В темноте такой «утомленный» экспонометр восстановит свою чувствительность, и генерируемый им ток вновь достигнет прежней величины.

Неточности, вносимые в результаты измерений в силу явлений утомления, зависят главным образом от интенсивности освещения, которому была подвергнута чувствительная поверхность фотоэлемента. Так, если эти неточности при небольших освещенностях порядка 1000—5000 люкс, обычных в практике черно-белых и цветных съемок в павильоне, не превышают величины в 2 — 6%, то при более высоких освещенностях они достигают нескольких десятков процентов.

Поэтому при измерениях небольших освещенностей постоянство действия фотоэлемента можно считать удовлетворяющим требованиям экспонометрии. При более

высоких освещенностях следует всемерно избегать длительного освещения чувствительной поверхности фотоэлемента. В случае замера больших яркостей также следует учитывать явление утомляемости.

При контроле яркости источников освещения и замерах, проводимых в условиях очень высокой освещенности, следует поэтому применять нейтрально серые фильтры, устанавливаемые перед фотоэлементом прибора.

Для регулирования величины светового потока, падающего на чувствительную поверхность фотоэлемента, некоторые экспонометры снабжены специальной ирисовой диафрагмой. Поэтому в экспонометрах типа ЭП-3 и ЭП-4 во избежание выхода из строя фотоэлемента при отклонении стрелки указателя прибора за пределы шкалы следует соответственно перекрывать диафрагму.

Очень большое практическое значение имеет разрешение вопроса о постоянстве действия фотоэлемента на протяжении длительного срока.

Испытания показали, что чувствительность фотоэлементов, сохраняемых в темноте и периодически освещаемых (при небольших освещенностях в 1000 — 2000 люкс), по истечении шестимесячных испытаний изменилась на 4—5%. Элементы, подвергнутые воздействию дневного света (освещенность порядка 10 000 люкс), дали снижение величины фототока до 10%, а элементы, периодически освещаемые солнцем, — до 15—20%.

Для экспонометра, работающего при различных и не всегда высоких освещенностях, постоянство действия можно считать практически удовлетворительным.

Несмотря на высокое постоянство работы современных фотоэлектрических экспонометров, в условиях кинопроизводства необходима регулярная проверка их технического состояния и правильности получаемых с их помощью результатов измерений.

Проверка работы экспонометров

Периодическая проверка экспонометров и в первую очередь приборов, используемых при проведении параллельных съемок по фильму, должна обеспечить необходимое единообразие получаемых с их помощью результатов. В настоящее время в системе кинематографии разработана методика испытаний, и на некоторых студиях Советского Союза смонтированы установки для проверки всех основных параметров работы экспонометров.

Зачастую даже между новыми, еще не бывшими в употреблении экземплярами экспонометров наблюдаются значительные расхождения показаний, достигающие тридцати и более процентов (связанные с неоднородностью характеристик селеновых фотоэлементов). Поэтому контрольным сравнительным испытаниям следует подвергать и новые приборы, не прошедшие испытаний и не имеющие технических паспортов.

В условиях киноэкспедиций и работы фотографов-любителей обычные студийные методы проверки правильности показаний, даваемых экспонометром, оказываются невыполнимыми.

В подобных случаях при непродолжительных экспедициях удовлетворительные результаты дает метод проверки работы экспонометра, основывающийся на замере относительно постоянной яркости северного участка ясного неба, в промежуток между одиннадцатью и тринадцатью часами в безоблачную погоду.

Перед выездом в экспедицию одновременно с проведением студийных испытаний экспонометра в указанных условиях измеряется яркость северного участка неба, и результат замера ложится в основу оценки итогов последующих контрольных замеров.

При замере экспонометр направляют на северную часть неба под углом в 45° к горизонту.

Следует иметь в виду, что наличие даже незначительной дымки может существенно повлиять на результаты измерений.

Желательно поэтому проверочные измерения проводить в условиях, приближающихся к условиям первоначальных контрольных замеров.

Опыт показал, что в случаях когда контрольные замеры яркости неба разнятся от исходной величины не более чем на 25%, точность показаний прибора может считаться удовлетворяющей требованиям практики натурной съемки.

Экспонометр может быть выверен также и путем сопоставления даваемых им показаний с показаниями заведомо исправного и проверенного прибора.

В случае если чувствительность проверяемого фотоэлектрического экспонометра изменилась, то на основании данных сравнения может быть составлена таблица соответствующих поправок.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ И УСЛОВИЙ ЭКСПОНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Применение фотоэлектрических экспонометров

Одним из важных обстоятельств, определяющих необходимость отказа от визуального определения экспозиции, является переход к обработке кинонегативов на проявочных машинах и широкое распространение метода проявления фотографических негативов по времени, что требует большой точности в определении условий экспонирования каждого отдельного снимка. С точки зрения оператора как художника целесообразность перехода к механизированному и точно контролируемому методу проявления негативов обусловливалась стремлением исключить влияние случайных факторов, не зависящих от воли самого оператора и искажающих задуманное им изобразительное решение.

Необходимость перехода от кустарных методов лабораторной обработки к обработке кинопленки на проявочных машинах обосновывалась также и чисто техническими требованиями, предъявляемыми к негативу в связи с объединением на одной пленке изображения и фонограммы.

Так как необходимым условием качества звучания является стандартность обработки фонограммы, то при объединении изображения и звука в одном позитиве недопустимо проявлять негатив и позитив изображения до случайной, определяемой на глаз плотности.

При соблюдении постоянства режима обработки кинонегативов и проявления фотографических негативов по времени значительные отклонения условий проявления от установленных норм оказывались невозможными и поэтому требования к точности экспонирования каждого отдельного негатива должны были резко возрасти. Существовавшие в то время различные типы актинометров, фотометров и тому подобных приборов для определения экспозиции в силу принципиальных недостатков их конструкции не могли обеспечить необходимого постоянства получаемых с их помощью результатов.

В 1932 году появился первый фотоэлектрический экспонометр-яркомер, предназначавшийся для измерений интегральной яркости снимаемого объекта. Относительная удовлетворительность такого экспонометра при съемках в условиях естественного освещения объяснялась большой фотографической широтой негативных материалов, сравнительно ограниченным интервалом яркостей большинства объектов съемки, а главное — невысокими требованиями к точности экспонометрических измерений, предъявляемых фотографической практикой. Для целей определения экспозиции, а тем более для контроля установки освещения в кинопавильоне методика замеров интегральной яркости не может считаться удовлетворительной.

Следует оговориться, что в отдельных случаях, когда объекты съемки равномерно освещены и не имеют значительных контрастов, применение метода замеров интегральной яркости может дать хорошие результаты. В случаях когда интервал яркости объекта и контрасты освещения велики, попытки определения времени и условий экспонирования путем замера интегральной яркости приведут к малоудовлетворительным результатам.

Значительно более совершенными являются методы определения экспозиции, основанные на замерах яркости отдельных элементов снимаемого объекта. При киносъемке, в сочетании с результатами, полученными в контрольных замерах фактур и изучении стандартно проявленных экспонометрических клиньев (экспонограмм), применение этой методики обеспечивает не только точное установление оптимальных условий экспонирования, но и возможность предварительного расчетного определения итоговых плотностей отдельных участков негатива.

Так как при работе в кинопавильоне оператор с помощью изменения расположения и мощности источников освещения имеет все возможности для регулирования освещенности отдельных участков объекта, а как следствие этого и контраста объекта съемки, то проблема определения величины экспозиции при съемке в ателье должна решаться принципиально иначе. В связи с этим необходимо учитывать различия условий экспонирования при съемке, проводимой на натуре, в условиях естественного освещения, когда освещенность снимаемой сцены и яркости отдельных элементов объекта предопределены, и съемкой в павильоне.

В обычных случаях съемки в кинопавильоне при определении условий экспонирования оператора интересует

не вопрос о величине диафрагмы и времени выдержки, заданных условиями съемки и стремлением к максимальному использованию светосилы применяемых объективов, а величины яркостей различно освещенных элементов сюжета в связи с вопросом об их правильном фотографическом воспроизведении.

Расчетное определение необходимых яркостей и величины экспозиции является весьма трудоемкой работой, отнимающей много времени, и в условиях киносъемки произведено быть не может. Поэтому в практической работе используются другие методы.

Метод измерения наименее яркого элемента объекта съемки

При работе по этому методу производится замер яркости наиболее темного участка объекта съемки. В соответствии с определенной таким образом величиной минимальной яркости может быть произведен необходимый экспонометрический расчет или же с помощью калькулятора экспонометра установлены время и условия экспонирования для данного негативного материала. При точности замеров и правильности вычислений величина определенной экспозиции будет равна наименьшей величине экспозиции, правильной в данных условиях освещения и данном характере объекта. Так как плотности теней при этих условиях экспонирования будут соответствовать плотностям нижней части характеристической кривой, определенным с учетом величины минимального полезного градиента, то детали в тенях будут хорошо проработаны и яркости их воспроизведены в негативе пропорционально. Если контрасты объекта съемки и интервал освещенности оптического изображения не велики и величина наибольшей правильной экспозиции, соответствующей яркостям наиболее ярких участков объекта, не выйдет за пределы полезного интервала экспозиций, то правильно будут воспроизведены и детали в светах.

При соблюдении этих условий полученные в результате экспонирования и проявления плотности негатива, соответствующие минимально и максимально ярким элементам объекта съемки, не выйдут за пределы полезного интервала плотностей применяемого светочувствительного материала.

При установке освещения кинодекорации применение этого метода обеспечивает хорошее воспроизведение

деталей в тенях объекта, полутонов и светов для подавляющего большинства объектов съемки.

Верхний предел яркости, допустимый в таких случаях, достигается на практике сравнительно редко, так как для большинства сюжетов величина интервала яркостей объекта и соответствующих ему плотностей негатива меньше полезной фотографической широты современных негативных материалов, определенной с учетом величины минимального полезного градиента в верхнем и нижнем участках характеристической кривой. Исключение могут составить сильно бликующие поверхности и источники освещения в кадре, плотности которых в негативе выйдут за пределы рабочих плотностей.

Значение точного определения минимально правильной экспозиции очень велико. Помимо очевидного экономического и производственного значения использования при съемках в кинопавильоне возможно меньшего количества осветительных приборов и обслуживающего их персонала, точное определение минимально правильной экспозиции приобретает большое практическое значение и в некоторых других случаях съемки. Так, например, при съемке объектов с большим количеством мелких деталей, в связи со значительным рассеянием света в эмульсионном слое, оператору и фотографу приходится зачастую максимально ограничивать количество освещения светочувствительного слоя и работать с относительно малыми плотностями почернения негатива.

В этих случаях непременным условием получения хороших качественных результатов съемки является безусловное соответствие условий экспонирования и величины выдержки величине минимально правильной экспозиции.

В случае несоблюдения этого требования и еще большего снижения величины наименьшей плотности негатива уже за пределы плотностей, соответствующих минимально правильной экспозиции, пропорциональность воспроизведения контрастов в тенях объекта нарушится.

Метод замера наименее яркого элемента сюжета и установление времени и условий экспонирования путем определения величины минимальной яркости является наиболее рациональным с точки зрения экономии света

и полностью обеспечивает получение негативов, обладающих необходимыми и достаточными плотностями.

В случаях когда яркость самого светлого элемента сюжета ниже предельной, правильно воспроизводимой яркости, общий уровень плотности негатива может быть повышен путем такого увеличения экспозиции, при котором яркость наиболее светлого участка объекта и соответствующие ей плотности не выйдут за пределы полезного интервала плотностей.

Измерение яркости отдельных участков снимаемого объекта должно проводиться с учетом угла охвата прибора, в непосредственной близости от измеряемой поверхности. Для большинства современных экспонометров, обладающих углом охвата 45—60°, измерения следует производить с расстояния, не превышающего ширины промеряемого участка поверхности. При этом следует наблюдать за тем, чтобы в пределах угла охвата находились однородные и равномерно освещенные участки замеряемой фактуры.

Метод измерения яркости стандартной белой поверхности

Учитывая невозможность точных измерений яркостей малых участков объектов съемки, а также трудности измерения малых яркостей участков с низкими коэффициентами отражения, зачастую применяется метод измерения яркости стандартной белой поверхности, устанавливаемой на место участка объекта, для которого определяется величина экспозиции или устанавливается уровень освещенности. Этот метод с успехом применяется в тех случаях, когда яркость окрашенной в темный цвет и мало освещенной поверхности очень низка и не может быть точно замерена. Для расчетного определения ее яркости с помощью экспонометра в условиях более высокой освещенности измеряется яркость аналогичного по окраске и фактуре участка поверхности. Затем в тех же условиях освещения измеряется яркость наложенного на эту поверхность листа белой бумаги.

Отношение величин яркости, полученное в результате этих измерений, определит собой отношение коэффициентов отражения поверхностей замеряемого объекта и белой бумаги.

Далее бумагу накладывают на тот темный, мало освещенный участок объекта, яркость которого не могла

быть замерена непосредственно, и вновь замеряют ее яркость. Разделив определенную в итоге этого измерения величину яркости белой бумаги на отношение коэффициентов отражения поверхностей замеряемого участка снимаемого объекта и бумаги, мы получим искомую величину интересующей нас яркости темного участка.

Зная приближенные значения коэффициентов отражения стандартной белой поверхности и соответствующих участков поверхностей объектов съемки и применяя метод подстановки, можно легко установить величину их яркости.

Этот метод может быть дополнен применением набора фактур и покрасок декораций, используемых при съемке фильма, яркость которых должна измеряться в тех же условиях освещения, в каких находится аналогичный по фактуре участок объекта съемки. В тех же условиях измеряется яркость белого эталона.

В этом случае установленное с помощью экспонометра отношение яркости той или иной покраски или фактуры к яркости одинаково с ней освещенной стандартной матовой белой поверхности (с известным приближением принимаемым за единицу) определит коэффициент яркости исследуемой фактуры. В качестве эталона при этих измерениях используется белая баритированная поверхность.

Полученные в результате измерений данные о яркости снимаемых поверхностей могут быть непосредственно использованы при расчете величины экспозиции по известным формулам.

Эти же данные могут лечь в основу определения условий экспонирования или установления необходимого уровня освещенности для каждой из применяемых фактур с помощью съемки экспонограммы.

Следует отметить, что метод измерения яркости белого эталона является по своей сущности методом косвенного измерения освещенности данной поверхности, так как яркость диффузно рассеивающей свет стандартной белой поверхности эталона зависит только от ее освещенности. При этих измерениях экспонометр устанавливается под углом к белой баритированной поверхности эталона, размеры которой определены с учетом угла охвата прибора и исключают попадание на чувствительную поверхность фотоэлемента посторонних световых лучей.

Крепление белого эталона к экспонометру должно обеспечивать легкую замену его образцами фактур.

Метод измерения наиболее яркого элемента объекта съемки

При съемке очень темных сюжетов в условиях малых освещенностей, когда яркость сюжетно важных деталей кадра очень мала и не может быть замерена с помощью экспонометра, где неудобно или почему-либо невозможно использовать метод подстановки стандартной белой поверхности, можно воспользоваться методом измерения наиболее яркого элемента сюжета.

В основу определения величины экспозиции кладется измерение яркости наиболее светлого элемента объекта съемки, правильная передача яркостей и деталей которого необходима. Найденная таким образом величина наибольшей правильной экспозиции будет соответствовать плотностям верхнего участка характеристической кривой. При этом будут пропорционально правильно воспроизведены контрасты и всех более темных участков снимаемого объекта, яркость которых не меньше $\frac{1}{L}$ величины яркости наиболее яркого элемента сюжета, где L — полезная фотографическая широта применяемого негативного материала.

Так как фотографическая широта современных черно-белых пленок и пластинок достигает 1 : 256 и более, то минимальная допустимая яркость наиболее темных участков объектов съемки, еще правильно воспроизводимая слоем, может быть принята равной $\frac{1}{128}$ — $\frac{1}{256}$ яркости их наиболее светлых элементов. При цветных съемках, в связи с относительно малой фотографической широтой и небольшим цветовым охватом многослойных пленок, это отношение окажется значительно меньшим. Применение этого метода определения экспозиции полностью обеспечивает правильное воспроизведение деталей в светах объекта. В случаях очень большого интервала яркостей снимаемого объекта и использования негативного материала с небольшой фотографической широтой пропорциональность воспроизведения контрастов и деталей в тенях может оказаться нарушенной.

Важно учесть, что, применяя этот метод, не следует измерять в качестве наиболее яркого элемента находящиеся в кадре источники освещения (например, лампы, люстры и т. п.).

С точки зрения экономии света метод замера наиболее яркого элемента сюжета является производственно нерациональным и ведет к получению негативов повышенной плотности.

Применение этого метода делает возможным использование для экспонометрических измерений экспонометров меньшей чувствительности.

В случаях, требующих значительной точности, величина экспозиции может быть определена с учетом яркостей как наиболее, так и наименее ярких элементов объекта съемки.

Недостатком этого метода является необходимость производства относительно большого количества замеров.

Измерение яркости основного сюжетно важного элемента объекта

В практике киносъемки все перечисленные методы определения величины экспозиции в целях установления необходимого светового баланса дополняются обычно измерением яркости основного сюжетно важного участка кадра. Объектом измерения в этих случаях является яркость лица основного персонажа снимаемой сцены. Во многих случаях особенности построения киноизображения, возникающие в связи с монтажным решением фильма, принуждают оператора поддерживать некоторое постоянство плотности лица каждого данного персонажа во всех кадрах сюжетно-монтажной композиции, сохраняющей неизменность характера освещения сцены. Это требование не может быть распространено на все случаи съемочной практики. Так, например, при выполнении специальных эффектов освещения при съемке силуэтных или полусилуэтных изображений поддержание постоянства плотности лица (по сравнению с другими сценами) окажется уже нецелесообразным.

Для обеспечения в негативе постоянства плотности сюжетно важных элементов изображения при киносъемке необходимо строго поддерживать и контролировать неизменность яркости и яркостных соотношений основных участков снимаемого объекта.

В связи с этим точное определение яркости отдельных достаточно малых элементов снимаемых объектов представляет собой важнейшее условие успешного применения этого метода определения экспозиции. Между тем при применении экспонометров с относительно большими углами охвата достижение необходимой точности при измерениях яркости небольших по площади участков снимаемого объекта очень затруднено. Это объясняется тем, что проводимые с их помощью замеры представляют собой лишь измерения интегральной яркости достаточно больших поверхностей. Практикуемые операторами замеры яркости лиц основных персонажей, проводимые с расстояний в 20—25 *см*, представляют собой также лишь измерения интегральной яркости и не дают исчерпывающих оснований для суждения о величине отдельных деталей яркости, характеризующих данный объект, например яркости лба, щек и т. п.

Полученные в результате подобных интегральных замеров данные могли бы для большинства объектов явиться основой точного определения величины экспозиции лишь в случаях небольших контрастов освещения. В случаях же повышенных контрастов освещения точность измерений яркостей отдельных деталей при цветных съемках в кинопавильоне оказывается зачастую недостаточной. Это объясняется тем, что результаты замера яркости того или иного участка объекта съемки определяются не только освещенностью, но и особенностями отражения им света и может в самых различных сочетаниях складываться из диффузного и направленного отражения.

В случаях рассеянного отражения яркость отражающей свет поверхности, подчиняясь закону Ламберта, будет одинакова во всех направлениях и замер ее с помощью экспонометра-яркомера не составит никаких трудностей. В случае же преобладания или значительной величины направленного отражения, показания экспонометра будут колебаться в широких пределах даже при самых незначительных изменениях положения прибора (по отношению к замеряемому участку объекта съемки), что может привести к существенным ошибкам. Замеры яркости следует производить под тем же углом, под которым «видит» поверхность объектив съемочного аппарата.

Непосредственные замеры яркости объекта зачастую дополняются замерами яркости стандартного белого эталона. Являясь по существу методом косвенного измерения освещенности диффузно отражающей свет белой поверхности, этот способ оказался не свободным от существенных недостатков.

Замеры освещенности

Был разработан метод измерения освещенности основных элементов объекта съемки, контрольных замеров освещенности второстепенных участков и пространственной освещенности. Эти измерения проводятся с помощью люксметров-светомеров, шкалы которых градуированы в единицах освещенности, или же при посредстве экспонометров, снабженных специальными насадками (рис. 36). При применении метода замера освещенности в экспонометрическую практику, обычно основывающуюся на определении яркости объекта, должны быть внесены некоторые изменения.

Рис. 36. Экспонометр ЭП-4 с насадкой для измерения освещенности

Необходимо иметь в виду и то, что для фактур, обладающих значительным направленным отражением, и для бликующих поверхностей замеры освещенности не могут дать достаточных оснований к суждению о яркости этих объектов и поэтому мало применимы.

В связи с этим данные о величине освещенности, получаемые в результате замеров, не могут служить непосредственным основанием для определения величин освещенности, создаваемых на светочувствительном слое оптическими изображениями снимаемого объекта.

Применению метода замеров освещенности должна поэтому предшествовать предварительная работа по исследованию используемых при съемке фактур и покрасок. Должны быть проведены соответствующие пробные съемки и съемки экспонометрических клиньев. Изучение полученных данных дает возможность точного установления верхнего и нижнего пределов освещенности снимаемой сцены применительно к заданному изобразительному эффекту, используемым фактурам и особенностям применяемых негативных материалов.

Простота техники замеров и высокая точность получаемых результатов измерений даже в случаях очень малой освещенности делает применение этого метода в производственных условиях вполне оправданным.

Особое значение приобретает метод измерения освещенности в построении освещения снимаемой сцены. Определив с помощью пробных съемок необходимые количественные характеристики освещения основных применяемых фактур и покрасок, оператор получает возможность установления необходимого и достаточного уровня освещенности как основных, так и второстепенных элементов объекта съемки.

Применение экспонометра для замеров освещенности очень облегчает работу кинооператора по установке освещения при съемке панорам, проходов действующих лиц и объектов, движущихся по самым сложным траекториям. С помощью таких замеров оказывается возможным установить на всем пути движения объекта необходимый уровень освещенности и осуществить предварительно всю установку освещения, что способствует существенному убыстрению съемочного процесса.

В обычных случаях замера освещенности экспонометр, снабженный специальной насадкой, устанавливается в непосредственной близости от соответствующего участка объекта съемки и направляется в сторону основных источников освещения.

В связи с очень большим углом охвата насадок для измерения освещенности экспонометр автоматически учитывает влияние на общий уровень освещенности снимаемого объекта всех других второстепенных источников освещения, расположенных в передней полусфере (свет неба, свет, отражаемый облаками, свет приборов подсветки и т. п.).

Определенная таким образом величина максимальной освещенности основных элементов снимаемой сцены кладется в основу определения времени и условий экспонирования.

При съемках в условиях естественного освещения на открытой площадке освещенности на объекте съемки и у съемочной камеры совпадают. Поэтому замеры освещенности при натурных съемках можно зачастую производить непосредственно у аппарата.

При воспроизведении особых эффектов, связанных с высокими контрастами освещения снимаемой сцены, во многих случаях оказывается необходимым точное определение не только максимальной, но и минимальной освещенности, могущей обеспечить необходимую проработку деталей в тенях объекта.

В подобных случаях замеры освещенности снимаемой сцены обеспечивают возможность быстрого и точного контроля контрастов освещения и установления необходимого постоянства характера освещения всех кадров снимаемого эпизода. Поэтому при работе в кинопавильоне помимо уровня освещенности основных объектов необходимо тщательно контролировать и освещенность фоновых элементов. В случаях когда фигуры действующих лиц перемещаются в пространстве декораций, необходимо замерять также и уровень пространственной освещенности.

Применение экспонометров при цветных съемках

Так как даже незначительные нарушения режима экспонирования цветных пленок существенно ухудшают качество цветопередачи, непременным условием достижения хороших результатов при цветных съемках является точность и тщательность проведения всех экспонометрических замеров и расчетов. Предел погрешности экспозиции для большинства снимаемых цветных сюжетов очень мал.

В связи с этим время выдержки должно определяться с точностью до 50%, а величина действующего отверстия — с точностью до $^1/_2$ деления нормальной шкалы диафрагм.

Одним из важнейших условий правильного цветовоспроизведения является возможно более полное использование при съемке участка нормальных экспозиций для всех трех слоев цветной пленки. Для этого

необходимо точно установить минимальную и максимальную яркость тех объектов, цвет которых должен быть правильно воспроизведен на снимке или на экране.

При чрезмерно больших интервалах яркостей, превышающих широту и цветовой охват пленки, а также при неправильном определении минимальной и максимальной яркости снимаемого объекта возникнут, как результат местных недодержек и передержек, искажения цветопередачи, ухудшающие качество снимка. Избежать этого можно лишь путем самого тщательного контроля контрастов освещения и яркости всех элементов объекта, производимого с помощью экспонометра.

Этой работе должно предшествовать установление с помощью пробных съемок точных значений величин минимальной и максимальной яркости для основных цветных фактур, используемых при съемке. Это оказывается особенно важным в связи с тем, что при работе на многослойных негативных материалах условия освещения и экспонирования должны определяться с полным учетом цветности и фактуры снимаемых объектов и всех особенностей их воспроизведения на цветной пленке.

Практическое значение точного установления этих величин для правильного воспроизведения на снимке цветового тона человеческого лица исключительно велико.

При определении по калькулятору экспонометра времени и условий экспонирования снимаемых объектов особое значение приобретает практическое установление точной величины чувствительности, используемой при съемке цветной пленки. Это особенно важно потому, что при хранении цветные пленки довольно быстро теряют значительную часть своей светочувствительности. Зачастую уже в течение первого года хранения чувствительность их снижается вдвое, и фактическая светочувствительность цветных пленок, с которыми встречается в своей практике кино-и фотолюбитель, во многих случаях не превышает 50—60% их первоначальной чувствительности.

Следует также учесть, что это снижение чувствительности зачастую связано и с ухудшением баланса

слоев цветной пленки как по чувствительности, так и по контрасту.

В связи с различиями спектральной чувствительности фотоэлемента и пленки, а также различиями спектральных характеристик снимаемых объектов точное определение по калькулятору необходимого времени выдержки в некоторых случаях цветной съемки затруднено. Поэтому для обеспечения качества цветовоспроизведения в работе фотолюбителя необходимо в условия экспонирования, определенные путем замеров интегральной яркости, вносить некоторые поправки. Точная величина этих поправок может быть установлена в результате пробных съемок.

При съемке светлых, освещенных солнцем сюжетов с яркими цветными деталями индекс чувствительности пленки в единицах ГОСТ на калькуляторе прибора должен быть установлен в соответствии с реальной чувствительностью применяемой цветной пленки.

В случаях же съемки с преобладанием более темных объектов для обеспечения качества их цветовоспроизведения индекс чувствительности должен быть снижен и принят равным примерно половине исходной.

Для обеспечения правильного воспроизведения на снимке темных или очень темноокрашенных объектов индекс чувствительности пленки должен быть снижен зачастую еще больше.

При съемках в пасмурную погоду для расчета условий экспонирования с помощью калькулятора индекс чувствительности применяемой цветной пленки должен снижаться на 30—40%. Это относится к случаям съемки светлых объектов. При съемке темноокрашенных объектов это снижение индекса чувствительности может достигать двукратного.

Определение практической светочувствительности негативных материалов

Правильность расчетов, производимых с помощью калькулятора, в очень большой степени зависит от точности определения действительной светочувствительности применяемого негативного материала. Тем не менее не только фотолюбители, но и некоторые специалисты, уделяя много внимания проведению экспонометрических замеров, зачастую не проверяют на практике точность данных о светочувствительности негативных материалов.

Основным преимуществом применяемого в Советском Союзе метода общесенситометрических испытаний ГОСТ по сравнению с ранее применявшимися методами является приближение условий испытаний фотоматериалов к условиям их практического использования. Несмотря на это, данные о величине светочувствительности, приводимые в маркировке пластинок и пленок, не всегда точно характеризуют величину их практической чувствительности в конкретных условиях съемки. Использование этих данных без учета потери части светочувствительности в итоге хранения, а также влияния проявления и некоторых других факторов не может обеспечить необходимого качества результатов съемки.

В связи с этим высокая точность данных о яркости или освещенности снимаемых объектов, получаемых в результате экспонометрических замеров, сочетается в расчетах с приближенными величинами, очень не точно характеризующими чувствительность применяемых пластинок и пленок.

Поэтому в практической работе целесообразно путем пробных съемок с помощью экспонометра установить точную величину светочувствительности применяемых при съемке негативых материалов.

Для успешного проведения этих съемок необходимо:

1) замерить яркость снимаемого объекта, или его освещенность, и, приняв в качестве исходной величины номинальную светочувствительность негативного материала, определить с помощью калькулятора необходимое время выдержки и величину относительного отверстия объектива. Объект съемки должен быть равномерно освещен, и различия яркости отдельных элементов объекта не должны быть чрезмерно велики;

2) сделать первый пробный снимок в соответствии с результатами расчета выдержки и величины относительного отверстия по калькулятору;

3) сделать два пробных снимка, увеличивая количество освещения каждого из них по сравнению с предыдущим на 50%, т. е. на половину деления шкалы диафрагм. Увеличение количества освещения светочувствительного слоя может быть произведено и с помощью фотозатвора путем удлинения выдержки;

4) сделать два пробных снимка, уменьшая при этом количество освещения каждого из них по сравнению с

предыдущим также на половину деления шкалы диафрагм;

5) проявить весь снятый материал в обычно применяемом проявителе при нормальной температуре и с точным соблюдением нормального для данного проявителя времени проявления;

6) выбрать из числа негативов различных плотностей наилучший, в наибольшей степени соответствующий требованиям правильного воспроизведения на снимке или экране контрастов объекта и всех его сюжетно важных деталей. Установить условия экспонирования этого негатива (величину действующего отверстия и время выдержки), определив, во сколько раз количество освещения, полученное им при экспонировании, больше или меньше исходной величины экспозиции.

Наибольшие различия в условиях экспонирования этих пяти негативов относятся между собой, как 4:1, и охватывают интервал экспозиции, который в большинстве случаев обеспечивает точное установление величины практической светочувствительности пленки и испытание экспонометра.

Учитывая, что величины, выражающие светочувствительность в единицах ГОСТ, прямо пропорциональны относительной практической светочувствительности негативного материала, нужно разделить или умножить исходную величину светочувствительности, выраженную в единицах ГОСТ, на найденную в результате пробной съемки поправочную величину.

Итог проведенных вычислений определит практическое значение светочувствительности негативного материала применительно к данным условиям съемки и лабораторной обработки, а также особенностям экспонометра.

Испытание кинопленки, принципиально не отличающееся по своей методике от описанной, широко применяется и в кинопрактике. Сущность его сводится к получению с помощью киносъемочной камеры ряда закономерно убывающих или возрастающих экспозиций. При условии стандартности лабораторной обработки снятого материала итоговые плотности и фотографические характеристики полученного негатива изображения смогут послужить основанием для оценки светочувствительности и других качеств пленки.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭКСПОНОМЕТРЫ (ЭКСПОЗИМЕТРЫ) ОСНОВНЫХ ТИПОВ, ИХ УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ

Еще в 1935 году в лаборатории съемочной техники Всесоюзного научно-исследовательского кинофотоинститута (НИКФИ) были построены первые опытные образцы советских фотоэлектрических экспонометров. Наряду с портативными приборами был выпущен большой экспонометр студийного типа, предназначавшийся для фотометрирования при съемке сложных комбинированных кадров.

В последующие годы наряду с различными опытными моделями были разработаны экспонометр НИКФИ-МКИП типа ЭП-3 и экспонометр ЭП-4, выпускаемый в настоящее время советской киномеханической промышленностью.

Экспонометр ЭП-4

Экспонометр этого типа является универсальным контрольно-измерительным прибором, позволяющим наряду с измерениями яркости производить и измерения освещенности снимаемого объекта. Экспонометр состоит из двух основных частей, связанных между собой вертикальной осью. Верхняя подвижная часть прибора, в которой расположен фотоэлемент, поворачивается относительно нижней, содержащей высокочувствительное электроизмерительное устройство постоянного тока и калькулятор экспозиции. Шкала микроамперметра градуирована в относительных единицах от 1 до 10. Значения абсолютных величин яркости или освещенности, соответствующие одному делению шкалы, приводятся в паспорте каждого экспонометра и соответствуют в среднем: при измерениях больших яркостей порядка 140 — 200 апостильб; при измерениях малых яркостей порядка 35 — 50 апостильб; при измерениях освещенности 40 — 75 люкс.

Фотоэлемент прибора с активной чувствительной поверхностью в 10 *кв. см* расположен в специальной конусной шахте. Перед входным отверстием шахты установлена ирисовая диафрагма, обеспечивающая регулирование величины светового потока, падающего на поверхность фотоэлемента. Отверстие шахты и диафрагма защищены от проникновения пыли и влаги покровным стеклом. Экспонометр снабжен двумя сменными

насадками, поворачивающимися вокруг вертикальной оси: одной для измерения освещенностей и другой для измерения средних и высоких яркостей.

Насадка для измерения яркостей, являющаяся ограничителем угла охвата прибора, состоит из линзового растра и сотообразной шахтной решетки, смонтированных в одной оправе (см. рис. 34). При применении этой насадки угол охвата прибора равен 45°. Насадка для измерения освещенностей снабжена матовым стеклом. Измерение небольших яркостей порядка 40 апостильб производится с полностью открытой диафрагмой, без насадок. Угол охвата прибора ограничивается в этом случае входным отверстием шахты и составляет примерно 100°.

Используемая в момент измерения насадка устанавливается перед входным отверстием шахты фотоэлемента. При измерениях малых яркостей обе насадки располагаются по бокам экспонометра, открывая отверстие шахты (рис. 37). Оправы обеих насадок фиксируются в основных положениях посредством запорного устройства, освобождение которого осуществляется специальным рычажком, расположенным на боковой стороне прибора.

Электроизмерительная система снабжена механизмом торможения указателя, фиксирующим положение стрелки в момент измерения. Это устройство значительно облегчает работу с экспонометром и расширяет возможности его производственного использования. Механизм торможения стрелки представляет собой подвижную дужку, надвигающуюся на тонкую спиральную пружину, укрепленную на конце стрелки-указателя. При нажиме кнопки, расположенной на боковой стенке нижней части экспонометра, дужка, отодвигаясь, освобождает стрелку.

Для расширения диапазона измерений в экспонометре ЭП-4 применена ирисовая диафрагма, позволяющая увеличивать диапазон прибора в 2, 10, 20, 50 и 200 раз и фиксирующаяся в каждом из этих положений. При определении величин яркости или освещенности показания прибора должны быть умножены на величину кратности, соответствующую раскрытию диафрагмы Диапазон измерений экспонометра ЭП-4 очень велик и охватывает все величины яркости или освещенности,

с которыми приходится сталкиваться в практике фото- и киносъемок.

Калькулятор экспонометра имеет два подвижных и один неподвижный диск, на котором нанесены значения относительных отверстий объектива в пределах

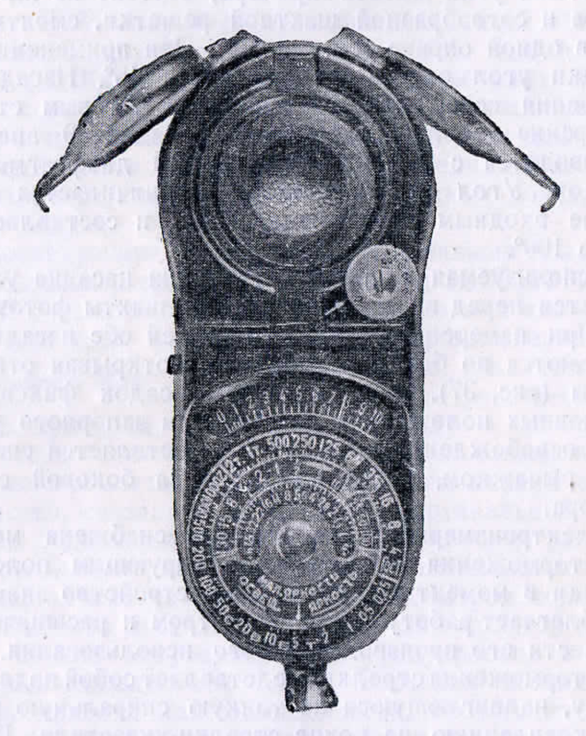


Рис. 37. Экспонометр ЭП-4. При измерении малых яркостей насадки для измерения яркости и освещенности расположены по бокам прибора, открывая отверстие шахты фотоэлемента

от 1 : 1,0 до 1 : 45, а также три отметки-индекса, соответствующие случаям расчета экспозиции при измерении освещенности и измерениях малых и больших яркостей (рис. 38).

На среднем, подвижном диске калькулятора нанесены величины времени выдержки в пределах от $^1/_{3000}$ сек. до 2 мин. Имеющийся на этом диске указатель совмещается с одним из делений шкалы чувствительности, характеризующих светочувствительность применяемых негативных материалов в единицах ГОСТ. На нижнем диске калькулятора нанесена также шкала световых величин в пределах от 0,25 до 2000 условных единиц.

Расчет времени и условий экспонирования, произведенный с помощью калькулятора экспонометра ЭП-4,

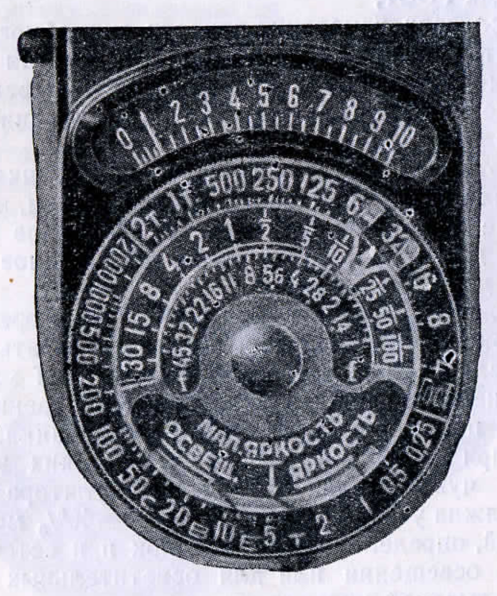


Рис. 38. Калькулятор экспонометра ЭП-4

обеспечивает при съемке на негативном материале данной чувствительности и его проявлении до $\gamma = 0{,}7$ получение в негативном изображении плотности человеческого лица, равной 0,9. В основу этого расчета положены результаты замера освещенности снимаемого объекта. Коэффициент отражения лица при этом принят равным 0,3. Шкала относительных отверстий калькулятора рассчитана на применение просветленных объективов с коэффициентом пропускания, равным 0,8.

Для правильного определения с помощью калькулятора времени экспонирования и величины относительного отверстия объектива следует:

1) замерить яркость или освещенность, снимаемых объектов и полученную в результате измерений величину умножить на соответствующую положению диафрагмы кратность;

2) совместить индекс-указатель среднего диска с соответствующим делением шкалы величин чувствительности применяемого негативного материала, выраженных в единицах ГОСТ;

3) в случаях измерения яркости снимаемого объекта совместить указатель «яркость» или «малая яркость», а при замерах освещенности—указатель «освещенность» на верхнем диске с соответствующим делением шкалы световых величин;

4) против соответствующего деления шкалы относительных отверстий, нанесенных на верхнем, неподвижном диске калькулятора прочесть на шкале выдержек среднего диска время выдержки, выраженное в секундах или долях секунды.

Как уже указывалось, при определении времени или условий экспонирования необходимо учитывать различия чувствительности применяемых негативных материалов при их использовании в условиях естественного освещения и при применении ламп накаливания. В этом случае при съемках на панхроматических эмульсиях величина чувствительности на калькуляторе экспонометра должна устанавливаться на 30—40% меньше номинальной, определенной для съемок при естественном, натурном освещении или для осветительных приборов с дугами высокой интенсивности.

Экспонометр «Ленинград»

Фотоэлектрический экспонометр «Ленинград» типа Ю-11 обеспечивает возможность определения величины необходимой выдержки не только по яркости, но и по освещенности объектов съемки. На боковой стенке экспонометра расположено прямоугольное отверстие шахты фотоэлемента. Угол охвата прибора равен примерно 60°. Для ограничения величины светового потока, падающего на чувствительную поверхность фотоэлемента, в шахте прибора может быть установлена шторка с двумя отверстиями. Применение этой шторки, закрывающей часть поверхности фотоэлемента, уменьшает количество падающего на него света в сорок раз и значительно расширяет диапазон измерений.

На рис. 39 приведен общий вид этого экспонометра. На нижнем зубчатом диске калькулятора красной и черной краской нанесены две шкалы величин относительных отверстий объектива, одна из которых перекрывается неподвижным сектором. При повороте диска эти шкалы меняются местами и одновременно автоматически открывается или закрывается шторка. В случаях невысоких яркостей объектов съемки и небольших освещенностей расчет выдержки производится по красной шкале относительных отверстий и красному индексу-указателю.



Рис. 39. Экспонометр «Ленинград» типа Ю-11 в футляре

При значительной яркости или освещенности объектов съемки используется черная шкала и соответствующий окрашенный в черный цвет индекс-указатель. На верхнем диске калькулятора нанесены величины времени выдержки в пределах от $^{1}/_{1000}$ до 60 сек. и шкала величин светочувствительности применяемых негативных материалов, выраженных в единицах ГОСТ. На этом же диске нанесен также специальный индекс-указатель, соответствующий времени выдержки при киносъемке, производимой с частотой в 16 кадросмен в секунду и угле раскрытия обтюратора в 170—180°.

Шкала микроамперметра градуирована в относительных единицах от 1 до 8. Приближенные значения величин яркости, или освещенности, соответствующие делениям этой шкалы, приведены в табл. 10.

Таблица 10

Приближенные значения величин яркости или освещенности, соответствующие делениям шкалы экспонометра «Ленинград»

Деления шкалы микроамперметра	Яркость замеряемого участка (в апостильбах)		Освещенность объекта съемки (в люксах)	
	при открытой шторке	при закрытой шторке	при открытой шторке	при закрытой шторке
1	10	400	50	2 000
2	20	800	100	4 000
3	40	1 600	200	8 000
4	80	3 200	400	16 000
5	160	6 400	800	32 000
6	320	13 000	1 600	65 000
7	640	25 000	3 200	130 000
8	1 300	50 000	6 400	250 000

При применении этого экспонометра в качестве яркомера для определения необходимого времени экспонирования следует:

1) совместить с индексом-указателем деление шкалы, соответствующее величине светочувствительности применяемого негативного материала;

2) направив прибор на снимаемый объект, вращать диск калькулятора до тех пор, пока черный индекс на нижнем диске не совместится с делением шкалы микроамперметра, соответствующим отклонению стрелки-указателя. Если при закрытой шторке отклонение стрелки микроамперметра не превысит двух делений шкалы, следует диск калькулятора вращать до тех пор, пока с соответствующим делением шкалы не совместится красный индекс. В случаях же высоких яркостей снимаемых объектов, когда стрелка микроамперметра уйдет за пределы шкалы, диск калькулятора следует повернуть так, чтобы в пределы шкалы вошел черный индекс и шторка закрылась;

3) против соответствующего деления шкалы относительных отверстий прочесть необходимое время выдержки, выраженное в секундах или долях секунды (рис. 40).

С помощью этого прибора время экспонирования может быть определено и по освещенности снимаемых объектов. Для замеров освещенности применяется специальная насадка с молочно-белым стеклом, легко вставляющаяся в отверстие шахты фотоэлемента. Расчет

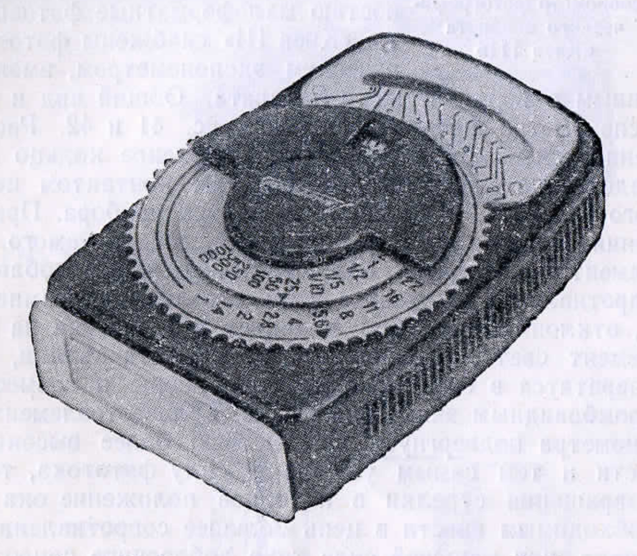


Рис. 40. Экспонометр «Ленинград» типа Ю-11 с насадкой для измерения освещенности

времени экспонирования производится так же, как и в случаях замера яркости объектов съемки.

Следует отметить, что при съемке некоторых очень ярких объектов, лишенных переднего плана (например, морских или удаленных зимних пейзажей), время выдержки, определенное с помощью этого экспонометра, целесообразно сократить примерно в два раза. При съемках же, проводимых против света или же при съемке объектов с очень темным передним планом, величину выдержки следует увеличить в полтора-два раза.

При применении экспонометра целесообразно систематически проверять нулевое положение стрелки микроамперметра.

Очевидно, что для проведения этой проверки необходимо полностью исключить доступ света к чувствительной поверхности фотоэлемента. При этом стрелка-указатель должна совпасть с нулевой отметкой шкалы. В случае несовпадения стрелки с этой отметкой следует с помощью регулировочного винта, расположенного в корпусе прибора, совместить ее с нулевым делением шкалы.

Экспонометр фотографического аппарата «Киев III»

Выпускаемые советской промышленностью малоформатные фотоаппараты «Киев III» снабжены фотоэлектрическим экспонометром, вмонтированным в верхней части аппарата. Общий вид и схема экспонометра представлены на рис. 41 и 42. Расположенное слева от экспонометра рифленое кольцо непосредственно связано со скользящим контактом небольшого реостата, находящегося внутри прибора. При вращении этого кольца в цепь тока, генерируемого фотоэлементом, вводится большее или меньшее добавочное сопротивление. В связи с этим стрелка микроамперметра, отклонившаяся под влиянием воздействия на фотоэлемент света, отраженного от объекта съемки, вновь возвратится в свое исходное положение и совместится с ромбовидным знаком на шкале. Если фотоэлемент экспонометра подвергнуть воздействию более высокой яркости и тем самым увеличить силу фототока, то для возвращения стрелки в исходное положение окажется необходимым ввести в цепь большее сопротивление. Наоборот, при меньшей силе тока добавочное сопротивление должно быть очень мало.

Таким образом, величина включенного в цепь сопротивления может служить мерилом яркости объектов замера.

На наружной поверхности калькулятора экспонометра и рифленого кольца, связанного со скользящим контактом реостата, нанесены: шкала времени выдержек, шкала относительных отверстий и шкала величин чувствительности применяемых негативных материалов.

В итоге измерения в соответствии с положением рифленого кольца, при котором стрелка микроамперметра совместится с ромбовидным знаком шкалы против соответствующего деления шкалы относительных отверстий, можно прочесть величину необходимой выдержки.

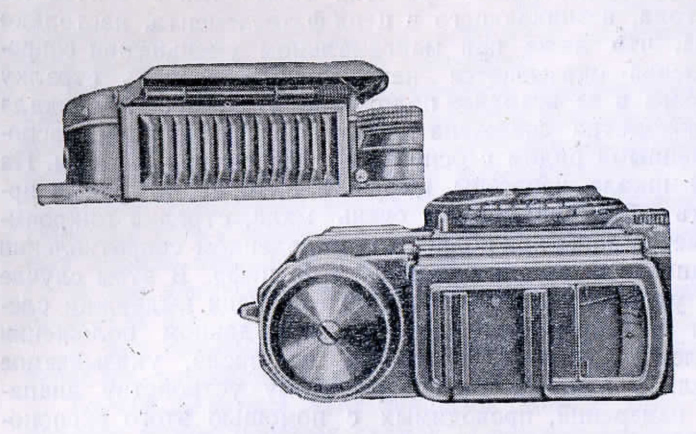


Рис. 41. Общий вид фотоэлектрического экспонометра фотографического аппарата «Киев III»

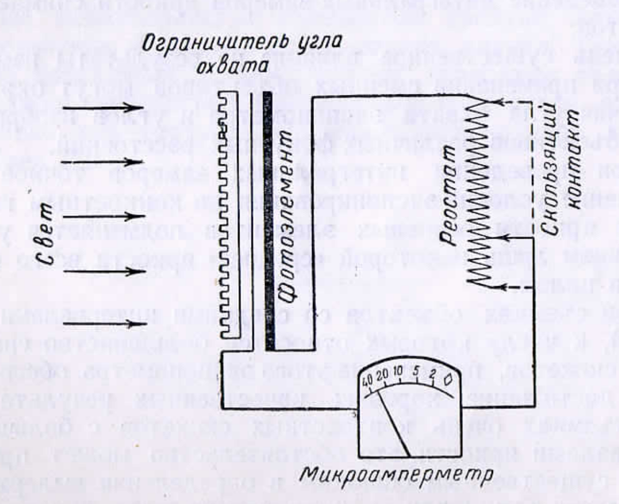


Рис. 42. Схема экспонометра фотоаппарата «Киев III»

При очень малых яркостях снимаемых объектов сила тока, возникающего в цепи фотоэлемента, настолько мала, что даже при максимальном уменьшении сопротивления оказывается невозможным вернуть стрелку прибора в ее исходное положение. В связи с этим шкала экспонометра снабжена добавочными делениями, расположенными рядом с основным указателем — ромбом. На этой шкале нанесены цифры 2, 5, 10, 20, 40. Когда яркость объектов съемки очень мала, стрелка микроамперметра даже при полностью выведенном сопротивлении остановится около одной из этих цифр. В этом случае для установления необходимого времени выдержки следует величину, определенную при данном положении рифленого кольца, умножить на число, указываемое стрелкой прибора. Благодаря этому устройству диапазон измерений, проводимых с помощью этого экспонометра, очень велик.

Экспонометр аппарата «Киев III» является яркомером с углом охвата, соответствующим углу изображения объектива с фокусным расстоянием в 5,0 *см* и рассчитан на проведение интегральных замеров яркости снимаемых объектов.

Очень существенное влияние на результаты измерений при применении сменных объективов могут оказать различия угла охвата экспонометра и углов изображения объективов различных фокусных расстояний.

При проведении интегральных замеров точное определение условий экспонирования по конкретным величинам яркости основных элементов подменяется установлением лишь некоторой «средней» яркости всего объекта в целом.

При съемках объектов со средними интервалами яркостей, к числу которых относится большинство снимаемых сюжетов, применение этого экспонометра обеспечивает достижение хороших качественных результатов. При съемках очень контрастных сюжетов с большими интервалами яркости это обстоятельство может привести к существенным ошибкам в определении выдержки.

В связи с этим при съемках против света или внутри помещений и при применении искусственного освещения в показания экспонометра аппарата «Киев-III» следует вносить некоторые поправки. Так, например, при съемке против света для обеспечения проработки деталей в тенях

объекта выдержку следует несколько удлинить по сравнению с показаниями прибора. При съемках внутри помещений при естественном освещении целесообразно несколько уменьшить время выдержки.

При освещении снимаемого объекта лампами накаливания в связи с различиями спектральной чувствительности фотоэлемента и применяемых негативных материалов целесообразно увеличить время выдержки:

1) при применении панхроматических негативных материалов типа «Панхром-3» и панхроматических негативных пленок типа Б и В — на 50%;

2) при применении обычных панхроматических материалов — на 100%;

3) при применении ортохроматических негативных материалов — примерно в 2,5 — 3 раза.

Точная величина этих поправок должна быть установлена путем пробных съемок. Светочувствительность применяемых при съемке негативных материалов, как уже указывалось ранее, теснейшим образом связана с условиями их проявления. Применяемые при работе с малоформатными аппаратами специальные, так называемые мелкозернистые проявители требуют некоторого увеличения времени экспонирования пленки. Поскольку для проявления пленок, снятых аппаратом «Киев III», должны применяться именно такие проявители, это было учтено при градуировке шкал экспонометра аппарата «Киев III».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Александр Владимирович *Гальперин*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

Редактор *А. Н. Телешев*
Обложка художника *В. Смирнова*
Художественный редактор *В. Д. Карандашев*
Технический редактор *А. Н. Чичерин*
Корректор *Г. И. Сопова*

Сдано в набор 1/XII 1954 г. Подписано к печати 7/V 1955 г. Формат бумаги 84×108 1/32
Печ. л. 3,75 (условных 6,15). Уч.-изд. л. 5,91. Тираж 100000 экз. Ш00177. «Искусство».
Москва, Цветной бульвар, 25, изд. № 16012
Зак. типографии 998. Цена 2 р. 10 к.

20-я типография Главполиграфпрома Министерства культуры СССР.
Москва, Ново-Алексеевская, 52